MANUAL PARA ANÁLISE DE INVENTÁRIO FLORESTAL E EQUAÇÃO DE VOLUME EM PROJETOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL - PMFS

Luciana Maria de Barros Francez
Fábio de Jesus Batista
Cintia Lika Inada Takehana
Paulo Luiz Contente de Barros
Deivison Venicio Souza
Walmir Carneiro Corumbá
Edson Marcos Leal Soares Ramos



Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA
Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS
Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará – IDEFLOR-bio

Luciana Maria de Barros Francez
Fábio de Jesus Batista
Cintia Lika Inada Takehana
Paulo Luiz Contente de Barros
Deivison Venicio Souza
Walmir Carneiro Corumbá
Edson Marcos Leal Soares Ramos

Manual para Análise de Inventário Florestal e Equação de Volume em Projetos de Manejo Florestal Sustentável - PMFS

Edufra
Belém
2017

EdUfra
Editora da Universidade Federal Rural da Amazônia

ENDEREÇO
Av. Tancredo neves, 2501
CEP: 66077-530 - Terra Firme
e-mail: editora@ufra.edu.br

Manual para Análise de Inventário Florestal e Equação de Volume em Projetos de Manejo Florestal Sustentável / Luciana M. de Barros Francez... [et al]. - Belém: Edufra, 2017.

100 p.: il.
ISBN: 978-85-7295-117-3.

1. Inventário florestal. 2. Equação de volume. I. Francez, Luciana M. Barros. II. Título.

CDD-634.928

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

SUMÁRIO

PREFÁCIO

O Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Pará tem por finalidade exercer a gestão das florestas públicas para produção sustentável e da biodiversidade e, ainda a gestão da política estadual para produção e desenvolvimento da cadeia florestal, a execução das políticas de preservação, conservação e uso sustentável da biodiversidade, da fauna e da flora terrestres e aquáticas no Estado do Pará (Cap. XVIII, Art. 65, Lei nº 8.096 de 01/01/2015), neste sentido, temos o prazer e o grande interesse institucional de apoiar a publicação do *Manual para Análise de Inventário Florestal e Equação de Volume em Projetos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS,* uma vez que este trabalho, profundamente bem elaborado, por professores da Universidade Federal Rural da Amazônia e Universidade Federal do Pará, assim como técnicos da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS/PA), compõe os horizontes de execução das políticas públicas estaduais voltadas para normatização dos procedimentos e planejamento do manejo sustentável dos recursos florestais do Estado do Pará. Deverá, portanto, ser útil aos técnicos e gestores das SEMAS/PA, órgão de governo que realiza o licenciamento dos Planos de Manejo Florestal e a medida da descentralização da gestão ambiental do Pará aos técnicos das Secretarias Municipais de Meio Ambiente, assim como, para que seja utilizado pelos estudantes de Engenharia Florestal das universidades públicas, no sentido de fornecer conhecimentos técnicos inovadores voltados à realização necessária de inventários florestais que irão favorecer a elaboração de planos de manejo, voltados à garantia da sustentabilidade dos recursos florestais. Os planos de manejo são instrumentos indispensáveis para a utilização econômica sustentável dos recursos florestais. A difusão de procedimentos técnicos mais precisos de realização dos inventários florestais deverá ser atividade valiosa e favorável ao desenvolvimento socioeconômico do Estado.

Thiago Valente Novaes
Presidente do Instituto de Desenvolvimento Florestal e da
Biodiversidade do Pará

APRESENTAÇÃO

A floresta amazônica é detentora da maior biodiversidade do planeta, sendo de fundamental importância para a humanidade, em virtude dos inúmeros "serviços ambientais" ofertados por ela. Contudo, esta diversidade é ameaçada em razão das ações antrópicas exercidas neste bioma, incorrendo em diversos danos ambientais, antes mesmo que espécies, tanto vegetais quanto animais, sejam conhecidas e manejadas.

Desta forma, é necessário conciliar a conservação e/ou preservação da biodiversidade com o desenvolvimento econômico, ameaçada pela intensa exploração de seus recursos madeireiros e não-madeireiros. Felizmente, em razão à crescente pressão da opinião pública e do mercado consumidor, quanto a procedência dos produtos oriundos da floresta e no que se refere à conservação dos recursos naturais, há um número cada vez maior de iniciativas de "bom manejo"[1], os quais visam a diminuição dos danos causados à floresta quando comparados àqueles realizados pela exploração florestal tradicional[2].

Neste sentido, há de se considerar a realização de um inventário florestal conciso, com informações fidedignas à realidade de campo, visto que o mesmo fornecerá subsídios para o planejamento da exploração, assim como para a avaliação e determinação das estratégias para o manejo florestal, propriamente dito. O inventário florestal é a base para o conhecimento da composição florística e determinação do volume remanescente e explorável da floresta a ser manejada, aplicação de tratamentos silviculturais e plantios de enriquecimento, se forem o caso.

Buscando aliar as demandas do mercado, às questões técnicas e a sustentabilidade, o Ministério do Meio Ambiente por meio dos órgãos vinculados ao Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA elaborou normativas com vistas à execução da Política Florestal do País.

[1] Sistema que utiliza informações de campo no planejamento e escolha de tecnologia adequada para as diferentes atividades de campo, enquadrando-se nos princípios do manejo sustentável.

[2] Exploração que possui pouco planejamento causando impactos significativos sobre a floresta, levando a perdas severas no dossel da mata, aumentando a propensão a incêndios e à invasão de espécies indesejáveis (UHL; KAUFFMAN, 1990; VERÍSSIMO et al., 1992; SILVA et al., 1999).

Nesse contexto, foram elaboradas a Instrução Normativa Nº 05 do MMA[3] de 11/12/2006, Norma de Execução/IBAMA[4] Nº 1 de 24/05/2007, Resolução do CONAMA[5] Nº 406 de 02/02/2009, Instrução Normativa/SEMA[6]/PA Nº 04 de 13/05/2011, Instrução Normativa/SEMA/PA Nº 05 de 19/05/2011 e Instrução Normativa/SEMA/PA Nº 5 de 10/09/2015 (Anexo A), que dispõem sobre os procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS).

As legislações ora mencionadas tratam da necessidade de apresentação do Inventário Florestal Amostral e Inventário Florestal 100% (IF 100%), assim como do cálculo do volume de árvores em pé, mediante equação de volume a ser desenvolvida especificamente para o PMFS. Entretanto, existem, ainda, muitas dúvidas em relação aos critérios de seleção de indivíduos e espécies para manutenção, de acordo com as especificações elencadas na IN Nº 05 do MMA de 11/12/2006 e IN/SEMA/PA Nº 5 de 10/09/2015. Outra dificuldade do setor é quanto à elaboração da equação de volume conforme solicitado no Artigo 10º da Resolução do CONAMA Nº 406 de 02/02/2009 e Parágrafo único do Artigo 24º da IN/SEMA/PA Nº 5 de 10/09/2015.

O objetivo deste manual é servir como um guia prático para a equipe técnica, responsável pela análise dos PMFS's, da Secretária de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS/PA), bem como dirimir as dúvidas e servir como um roteiro metodológico para a realização de análise do IF 100% e elaboração de equação de volume, para os projetos apresentados por Engenheiros Florestais responsáveis pela elaboração dos Planos de Manejo Florestal do Estado do Pará. Esta publicação objetiva, também, atender professores e estudantes da Engenharia Florestal e áreas afins que terão ao alcance um bom material de consulta para o aprimoramento do conhecimento teórico e técnico.

3 Ministério do Meio Ambiente.

4 Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

5 Conselho Nacional do Meio Ambiente.

6 Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará.

Este manual foi instituído pela IN/SEMA/PA Nº 60 de 31/12/2010 homologada pela então Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA/PA), que em seu Artigo 6º versa que "Fica instituído o manual para análise de inventário e equação de volume em Projetos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS, protocolados nesta SEMA".

Este trabalho constitui a primeira impressão, do Anexo II da IN/SEMA/PA Nº 60/2010, com sucintas modificações e atualizações.

1 ANÁLISE DE INVENTÁRIO FLORESTAL - 100% (IF 100%)

O inventário florestal consiste, basicamente, no registro dos indivíduos existentes em uma determinada área. É um importante instrumento utilizado para diagnosticar o potencial produtivo de uma floresta, objetivando oferecer informações quantitativas e qualitativas dos produtos madeireiros e não-madeireiros. Com as informações levantadas em um inventário florestal é possível determinar a viabilidade econômica dos diferentes seguimentos e empreendimentos florestais.

Os inventários florestais podem ser aplicados em vários tipos de levantamento, sendo empregado, por exemplo, para a realização do reconhecimento de uma área a ser explorada e/ou um diagnóstico dos danos causados à vegetação remanescente após as atividades exploratórias.

Soares; Neto; Souza (2011) afirmaram que existem diferentes tipos de inventário florestal: Censo ou Inventário 100% (IF 100%); Amostragem; Temporários; Contínuos; Exploratório; De reconhecimento e o Detalhado. No presente manual tratar-se-á, apenas, da análise do IF100% que é uma prática adotada nas atividades pré-exploratórias, o qual será a base para o planejamento das ações inerentes as diferentes fases da exploração florestal. A realização do inventário florestal é de fundamental importância para a projeção das estradas principais e secundárias, ramais de arraste, estabelecimento de pátios de estocagem e para a determinação dos indivíduos e espécies a serem mantidos, assim como àqueles que deverão ser selecionados para o corte.

Na realização do manejo florestal, visando à produção sustentável, é importante conhecer as diversas características da floresta, as quais podem ser obtidas pelo inventário florestal. Atualmente, o IF100% deverá ser apresentado segundo o que versa a IN/MMA Nº 05 de 11/12/2006 (BRASIL, 2006), Norma de Execução/IBAMA Nº 1 de 24/05/2007 (BRASIL, 2007), Resolução do CONAMA Nº 406 de 02/02/2009 (BRASIL, 2009), IN/SEMA/PA Nº 04[7], de 13/05/2011 (PARÁ,

[7] Esta normativa caiu em desuso com o advento da IN/SEMA/PA Nº 05, de 19/05/2011. Contudo, cabe ressaltar que a última não revoga a anterior.

2011b); IN/SEMA/PA Nº 05, de 19/05/2011(PARÁ, 2011a); e IN/SEMA/PA Nº 05 de 10/09/2015 (PARÁ, 2015).

A análise técnica é baseada no que rege a legislação supracitada, observando os critérios de manutenção de árvores por espécie, de acordo com os Artigos 6º, 7º e 8º da IN/MMA Nº 05 de 11/12/2006 (BRASIL, 2006); Artigo 4º da Resolução do CONAMA Nº 406 de 02/02/2009 (BRASIL, 2009) e Artigos 22º, 23º, 24º e 25º da IN/SEMA/PA Nº 05, de 10/09/2015 (PARÁ, 2015).

A seguir é demonstrado o passo a passo para a realização da análise do IF 100%.

1º Passo: Criar uma cópia do IF 100%

Antes de qualquer exame técnico o analista deverá criar uma cópia da planilha contendo os dados do IF 100%.

Primeiramente deverá ser verificada a existência de erros na planilha como: células em branco, nome de indivíduos da mesma espécie escritos em formatos diferentes, árvores com numerações repetidas, valores demasiadamente altos para as variáveis $CAP_{c/c}$ (circunferência com casca a 1,30m do solo) ou $DAP_{c/c}$ (diâmetro com casca a 1,30m do solo) e H_c (altura comercial).

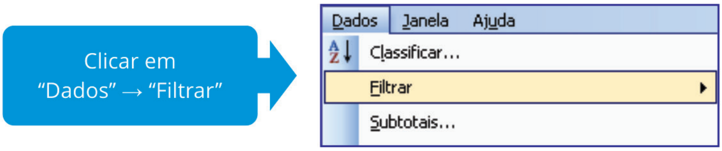
É importante que seja feita a confirmação de árvores inventariadas em área de preservação permanente (APP), por meio da observação visual do mapa logístico, confirmando sua situação com os dados do IF 100%. Caso seja constatada a existência de árvores inventariadas (destinadas à exploração ou como remanescentes) em APP, o IF 100% deverá ser corrigido e mapa logísticos refeitos.

A situação mencionada acima pode ser observada da seguinte maneira: o mapa logístico está apresentado adequadamente, sem árvore inventariada e destinada a exploração em APP, mas, na planilha do IF 100% consta árvore inventariada em APP e destinada à exploração ou remanescente. Esta falha não é muito comum, entretanto, acontece e é passível de correção, pois caracteriza que o ajuste foi feito no mapa

logístico e não transferido ao banco de dados do IF 100%. A constatação desse erro é simples e é realizada de forma visual. Basta conferir no mapa logístico a continuidade da numeração das árvores inventariadas nas proximidades de APP. No momento em que a sequência da numeração for interrompida, há um indício de que, possivelmente, a numeração da árvore ausente corresponda a um indivíduo que "caiu" em APP, sendo excluído do mapa. Essa confirmação deve ser feita juntamente ao banco de dados do IF 100%, na coluna que caracteriza a situação das árvores. Se a árvore ausente for identificada em APP, o planejamento está correto, do contrário, deve ser feita a adequação. As árvores em APP's não devem ser inventariadas, no entanto, se estas forem inventariadas deverão ficar fora de todas as análises referentes ao planejamento da exploração, devendo ser preservadas, segundo prevê a legislação.

Em seguida deverá ser aberta a planilha com os dados brutos coletados em campo e, posteriormente, selecionada a linha (ou grade) contendo os nomes das variáveis discriminadas e utilizando-se a opção "Filtrar" (Figura 1).

Figura 1 - Procedimento de filtragem na planilha com dados brutos.



2º Passo: Verificação e adequação (se for o caso) do IF 100%

Após aplicar o procedimento **"Filtrar"**, o qual permitirá visualizar de forma resumida todas as informações constantes na coluna da variável selecionada, o técnico deverá realizar a avaliação e adequação (se for o caso) do IF 100% quanto às informações prestadas no PMFS, bem como ao marco legal vigente, conforme descrito nos itens (i), (ii), (iii).

(i) Quanto ao diâmetro mínimo de corte – DMC

A verificação e adequação do Diâmetro Mínimo de Corte - DMC constitui-se em uma das principais análises a serem realizadas no IF 100% (Figura 2). Neste procedimento o técnico deverá atentar-se para a previsão de corte das árvores a explorar, ou seja, verificar se não existem árvores previstas para exploração com DMC abaixo do permitido (< 50cm), para as quais, ainda, não se estabeleceu o DMC específico.

Figura 2 - Procedimento para verificar o diâmetro mínimo de corte.

D	E	F	G	H	I	J	K
NOME CIENTIFICO	CAP	HC	QF	DAP	V(m³)	G(m³/h	OBS
Hymenaea courbaril L. var. courbaril	183				3,174532	0,266767	Exploração
Hymenaea courbaril L. var. courbaril	229				5,848299	0,417736	Exploração
Hymenaea courbaril L. var. courbaril	192				4,111129	0,293652	Exploração
Euxylophora paraensis Huber	298				10,89391	0,707397	Exploração
Euxylophora paraensis Huber	346				15,35354	0,953636	Exploração
Dinizia excelsa Ducke	232				5,702407	0,428752	Exploração
Manilkara huberi (Ducke) Chevalier	192				2,672234	0,293652	Exploração
Cariniana micrantha Ducke	309				12,24541	0,760585	Exploração
Hymenaea courbaril L. var. courbaril	198				4,153485	0,312292	Exploração
Euxylophora paraensis Huber	277				8,556934	0,61121	Exploração
Hymenaea courbaril L. var. courbaril	269				9,280279	0,576415	Exploração
Trichilia sp.	223				4,15939	0,396132	Exploração
Trichilia sp.	273				5,81811	0,593685	Exploração

(Tudo)
(10 Primeiros...)
(Personalizar...)
0,52866242
0,550955414
0,554140127
0,557324841
0,560509554
0,563694268
0,570063694
0,579617834
0,582802548
0,595541401
0,598726115
0,601910828
0,608280255
0,611464968

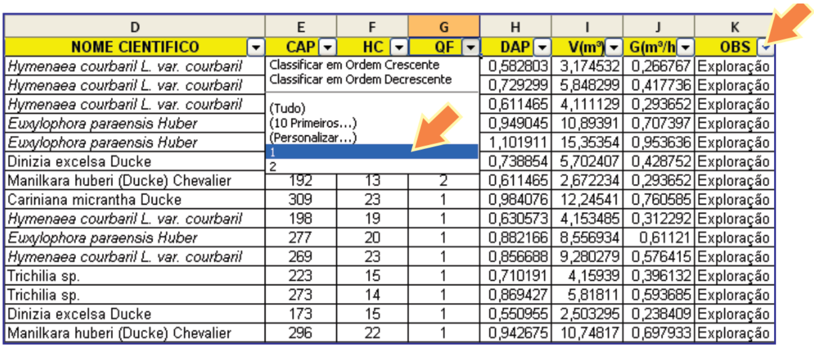
A análise do DMC das espécies comerciais deve levar em consideração o diâmetro mínimo de todo o inventário florestal, previsto no PMFS/POA. A legislação vigente (Norma de Execução/IBAMA Nº 1 de 24/05/2007 (BRASIL, 2007) e IN da SEMA/PA Nº 05, de 10/09/2015 (PARÁ, 2015)) determina que o diâmetro mínimo de medição do IF 100% deva ser pelo menos 10cm menor do que o diâmetro mínimo de corte da espécie.

(ii) Quanto a exploração de árvores com qualidade de fuste 3 (QF3)

Deverá ser observada, ainda, a existência de árvores com qualidade de fuste 3 (QF3) selecionadas para exploração florestal. Neste procedimento o técnico deverá verificar no Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) / Plano Operacional Anual (POA) se a sua exploração foi

devidamente prevista, bem como a justificativa técnica plausível para a utilização de árvores com qualidade de fuste 3. Caso conste no PMFS/POA a previsão para a exploração, somente, de indivíduos com qualidade de fuste 1 (QF1) e 2 (QF2), no banco de dados do IF 100% apresentado em CD-ROM, não deverá haver indivíduos à explorar que contenham QF 3 (Figura 3).

Figura 3 - Procedimento para verificar a exploração de árvores com qualidade de fuste 3.

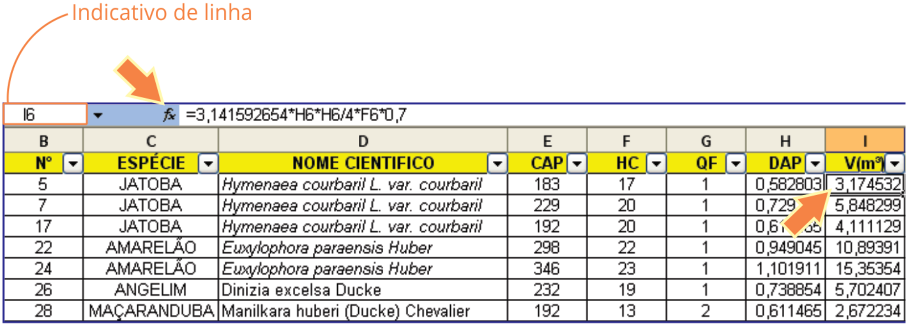


D	E	F	G	H	I	J	K
NOME CIENTIFICO	CAP	HC	QF	DAP	V(m³)	G(m³/h	OBS
Hymenaea courbaril L. var. courbaril				0,582803	3,174532	0,266767	Exploração
Hymenaea courbaril L. var. courbaril				0,729299	5,848299	0,417736	Exploração
Hymenaea courbaril L. var. courbaril				0,611465	4,111129	0,293652	Exploração
Euxylophora paraensis Huber				0,949045	10,89391	0,707397	Exploração
Euxylophora paraensis Huber				1,101911	15,35354	0,953636	Exploração
Dinizia excelsa Ducke				0,738854	5,702407	0,428752	Exploração
Manilkara huberi (Ducke) Chevalier	192	13	2	0,611465	2,672234	0,293652	Exploração
Cariniana micrantha Ducke	309	23	1	0,984076	12,24541	0,760585	Exploração
Hymenaea courbaril L. var. courbaril	198	19	1	0,630573	4,153485	0,312292	Exploração
Euxylophora paraensis Huber	277	20	1	0,882166	8,556934	0,61121	Exploração
Hymenaea courbaril L. var. courbaril	269	23	1	0,856688	9,280279	0,576415	Exploração
Trichilia sp.	223	15	1	0,710191	4,15939	0,396132	Exploração
Trichilia sp.	273	14	1	0,869427	5,81811	0,593685	Exploração
Dinizia excelsa Ducke	173	15	1	0,550955	2,503295	0,238409	Exploração
Manilkara huberi (Ducke) Chevalier	296	22	1	0,942675	10,74817	0,697933	Exploração

(iii) Quanto à utilização correta das fórmulas para o cálculo das variáveis dendrométricas

Outro ponto a ser observado é a correta utilização das fórmulas matemáticas para o cálculo das variáveis dendrométricas (DAP, volume, área basal) (Figura 4). Neste ponto é bom observar o indicativo de linha no canto superior esquerdo da planilha Excel (No exemplo abaixo foi utilizado a linha 6).

Figura 4 - Procedimento para utilização correta das fórmulas para o cálculo das variáveis dendrométricas.



B	C	D	E	F	G	H	I
Nº	ESPÉCIE	NOME CIENTIFICO	CAP	HC	QF	DAP	V(m³)
5	JATOBA	*Hymenaea courbaril L. var. courbaril*	183	17	1	0,582803	3,174532
7	JATOBA	*Hymenaea courbaril L. var. courbaril*	229	20	1	0,729[illegible]	5,848299
17	JATOBA	*Hymenaea courbaril L. var. courbaril*	192	20	1	0,61[illegible]55	4,111129
22	AMARELÃO	*Euxylophora paraensis Huber*	298	22	1	0,949045	10,89391
24	AMARELÃO	*Euxylophora paraensis Huber*	346	23	1	1,101911	15,35354
26	ANGELIM	Dinizia excelsa Ducke	232	19	1	0,738854	5,702407
28	MAÇARANDUBA	Manilkara huberi (Ducke) Chevalier	192	13	2	0,611465	2,672234

$$DAP = \frac{E6}{\pi} \qquad V = \frac{(\pi \times H6^2)}{4 \times F6 \times 0{,}7}$$

A partir do segundo POA, só será aceito pelo órgão ambiental competente o cálculo do volume de árvores em pé, mediante equação de volume desenvolvida especificamente para o PMFS (ver item 2 deste manual).

3º Passo: Criar uma “tabela dinâmica”

Realizada a verificação e adequação (se for o caso) do IF 100%, proceder-se-á a verificação dos critérios de raridade previstos na Instrução Normativa do MMA Nº 05, de 11/12/2006 (BRASIL, 2006) e IN da SEMA/PA Nº 05, de 10/09/2015 (PARÁ, 2015). Este procedimento será realizado a fim de verificar o atendimento dos aspectos legais previstos nestas instruções normativas, no que diz respeito ao percentual de indivíduos remanescentes a serem mantidos na área de efetivo manejo florestal. Para tanto, o técnico deverá utilizar a ferramenta “tabela dinâmica” do Microsoft Office Excel (Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20).

Figura 5 - Janela inicial para criar uma tabela dinâmica.

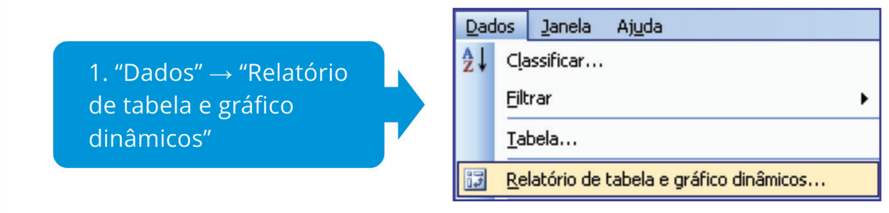


Figura 6 - Janela do assistente de tabela dinâmica e gráfico dinâmico.

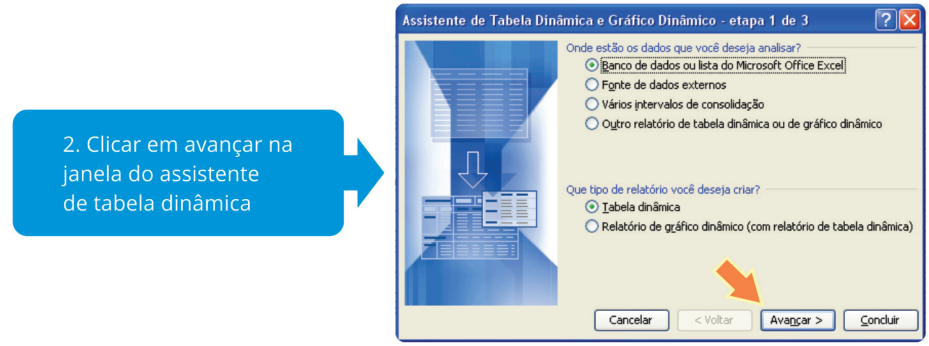


Figura 7 - Seleção das células correspondentes aos dados para a construção da tabela dinâmica.

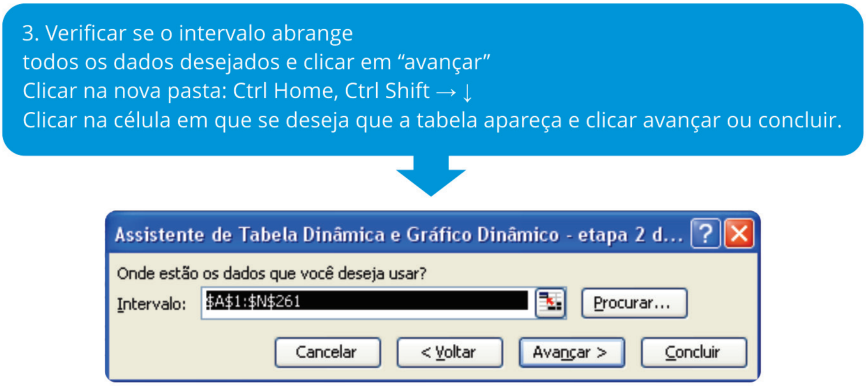


Figura 8 - Seleção das variáveis linhas a serem cruzadas na tabela dinâmica.

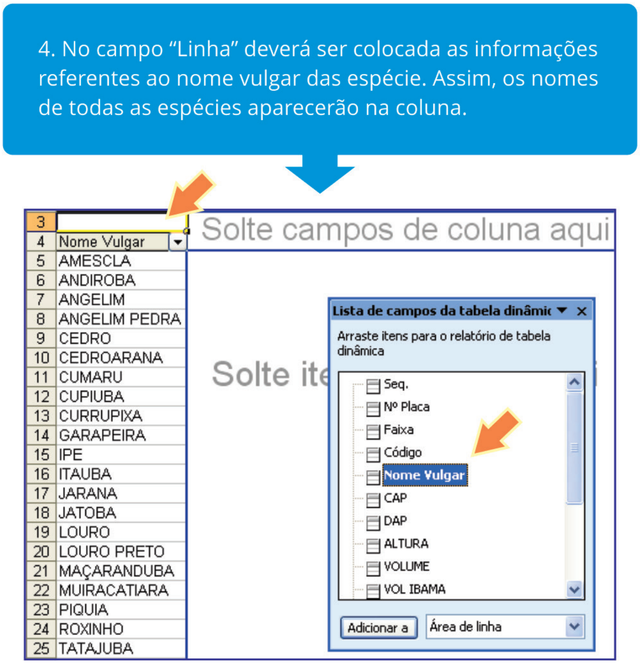


Figura 9 - Seleção das variáveis colunas a serem cruzadas na tabela dinâmica.

5. No campo referente à Coluna deverão ser colocadas as informações relativas à destinação das espécies (Classificação ou categoria dada aos indivíduos das diferentes espécies. Ex.: Exploráveis, remanescentes, árvores em APP).
Clicar com botão esquerdo na variável OBS (que no exemplo abaixo se refere à destinação das espécies), pressionar e arrastar para o campo concernente a coluna: "Solte campos de coluna aqui".

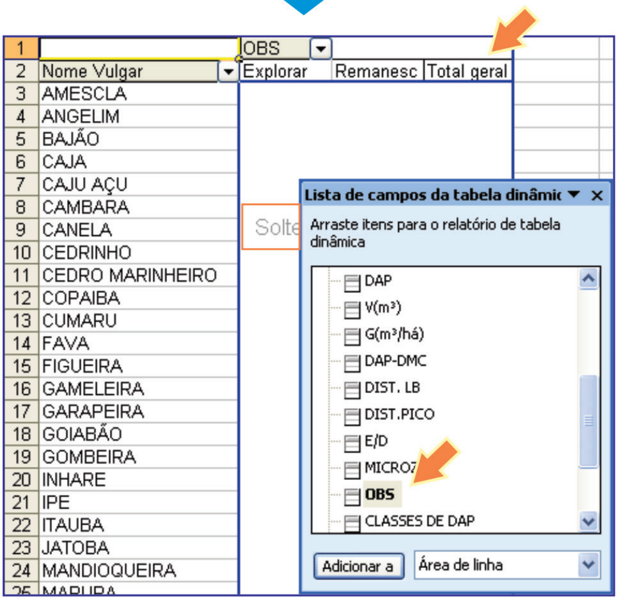


Figura 10 - Procedimento para a contagem de indivíduos na tabela dinâmica.

6. Para o cálculo do número de indivíduos por categoria (ex: explorar, remanescente), o técnico deverá arrastar uma variável (que possibilite contabilizar o número de indivíduos, por exemplo, o volume) da janela "Lista de campos da tabela dinâmica" para o campo referente a itens de dados, onde aparece o escrito: "Solte itens de dados aqui".
Em seguida o técnico deverá clicar duas vezes sobre a célula "Soma de volume".
Na Janela "Campo de tabela dinâmica" → selecionar: ContNúm → Ok

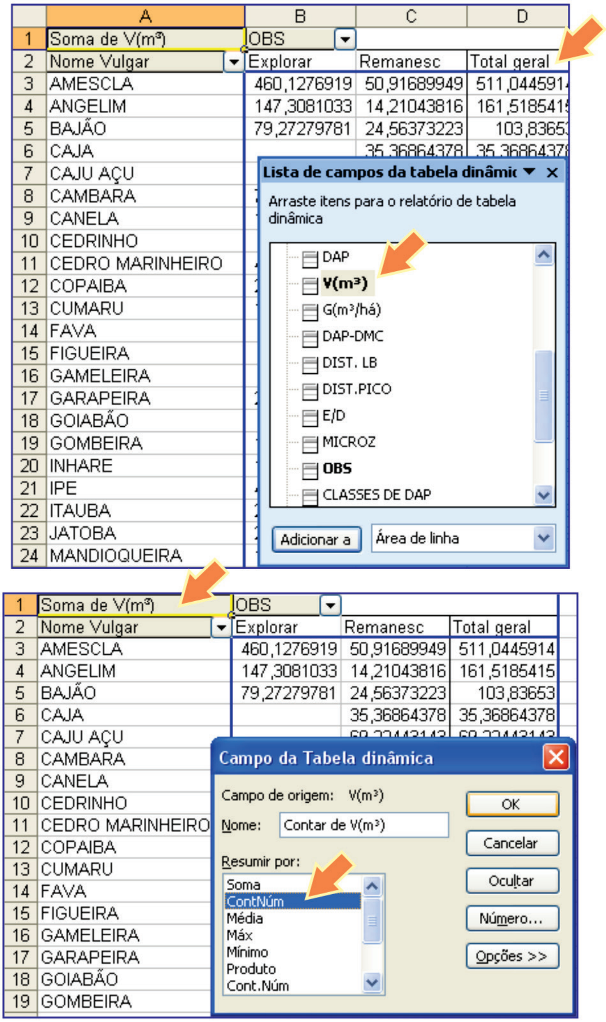


Figura 11 - Procedimento para copiar as informações dos indivíduos a serem trabalhados.

7. Agora, é necessário copiar os dados da tabela dinâmica para poder trabalhar com os resultados gerados. Clicar na coluna nome vulgar da espécie: Ctrl + Shift → ↓ Ctrl C, colar especial “valores” na mesma planilha;
Nesta nova planilha deverá ser utilizado o “Autofiltro” na primeira linha da tabela. Após selecionar o campo dos indivíduos, direcionados à exploração, o campo das não vazias deverá ser marcado (o objetivo deste passo é selecionar, apenas, as espécies marcadas para a exploração).

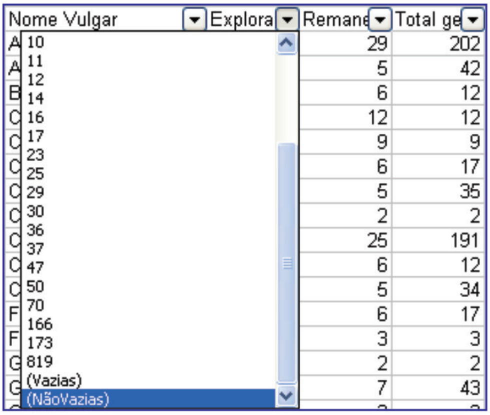
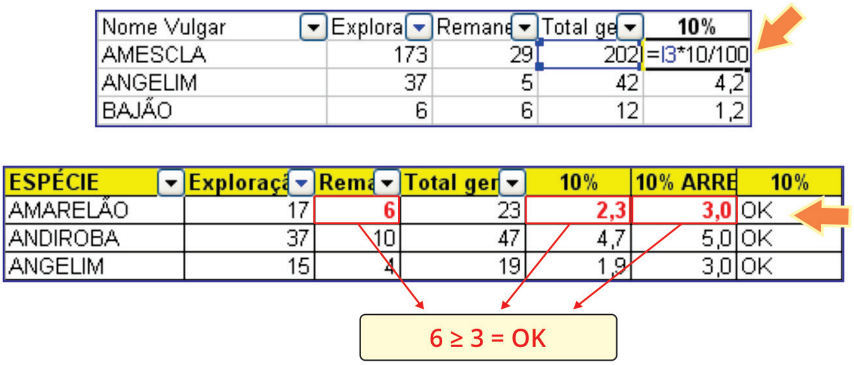


Figura 12 - Planilha para o cálculo dos 10% preconizados na IN do MMA Nº 05/2006 e IN da SEMA/PA Nº 05, de 10/09/2015.

8. Criar ao lado da tabela uma coluna para o cálculo dos 10% preconizados na IN do MMA Nº 05/2006 e IN da SEMA/PA Nº 05, de 10/09/2015. O cálculo do número de árvores remanescentes a serem deixadas deverá ser feito sobre o total geral dos indivíduos (Remanescentes + Exploráveis) com DAP ≥ 50 cm.



Nome Vulgar	Explora	Remane	Total ge	10%
AMESCLA	173	29	202	=I3*10/100
ANGELIM	37	5	42	4,2
BAJÃO	6	6	12	1,2

ESPÉCIE	Exploraçã	Rema	Total ger	10%	10% ARRE	10%
AMARELÃO	17	6	23	2,3	3,0	OK
ANDIROBA	37	10	47	4,7	5,0	OK
ANGELIM	15	4	19	1,9	3,0	OK

Figura 13 - Procedimento para verificar os critérios do número mínimo de indivíduos remanescentes e 3 indivíduos/100ha.

9. Para Área de Efetivo Manejo Florestal - AEMF maior ou igual a 100ha tem-se:
   ✓ Critério de 3 indivíduos/100ha, proceder-se-á o seguinte cálculo:
   - 3 indivíduos x AEMF/100ha
   - Nº indiv.= 3 x (AEMF)/100
   - Exemplo= 3 x 184,416533/100
   - O técnico deverá, sempre, arredondar esse valor para mais.
   - Por exemplo: 5,53249.... = 6 indivíduos – o que não atender a esse número, deverá ser enquadrada como Remanescente (RESERVADA)

						=3*184,416533/100
Explor	Remane	Total ge	10%	10% arred	checar 10%	3ind/100ha
173	29	202	20,2	21	s	

							5,53249599	6 indivíduos
Nome Vulgar	Explor	Reman	Total ge	10%	10% arred	checar 10%	3ind/100ha	Remanescente atual
AMESCLA	173	29	202	20,2	21	s	s	
ANGELIM	37	5	42	4,2	5	s	n	remanejar do abate para o remanescente
BAJÃO	6	6	12	1,2	2	s	s	
CAMBARA	11	6	17	1,7	2	s	s	
CANELA	30	5	35	3,5	4	s	n	remanejar do abate para o remanescente

No exemplo mostrado na Figura 13, duas espécies não apresentaram o número mínimo de indivíduos remanescentes (ANGELIM e CANELA) exigidos por Lei. Neste caso, todas as espécies atenderam o critério de 10%, todavia as duas espécies mencionadas não atenderam o critério de 3 indivíduos/100ha. Os dois parâmetros devem ser considerados, caso contrário, o técnico deverá solicitar a adequação necessária.

Figura 14 - Procedimento para verificar a volumetria a ser liberada por espécie.

10. Após a verificação dos indivíduos remanescentes das espécies comerciais a explorar, deve ser verificada a volumetria a ser liberada por espécie. O Volume a ser liberado deverá ser calculado da seguinte maneira:
O técnico deverá clicar em Dados → Relatório tabela dinâmica → Selecionar a planilha que apresenta os dados de QF 1 e 2; DAP ≥ 50cm.

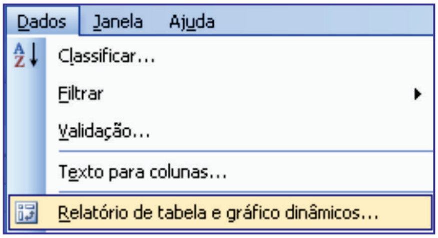




Figura 15 - Seleção da célula onde a tabela referente ao volume a ser liberado por espécie será criada.

11. Clicar na célula em que se deseja que os dados da tabela dinâmica apareçam. Em seguida clicar em concluir.

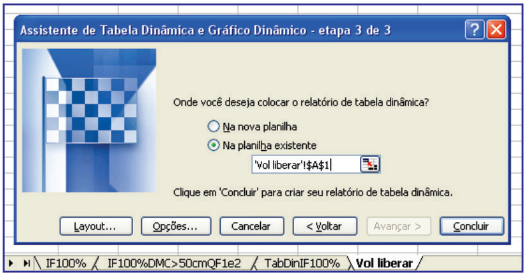


Figura 16 - Seleção das variáveis linhas da tabela dinâmica para o volume.

12. Clicar no quadro “Lista de campos da tabela dinâmica”, os itens que se referem às variáveis para efetuar o cálculo:
– Clicar com o botão esquerdo, sobre a variável (Espécie ou Nome Vulgar), pressionar e arrastar **(1)** para a 1ª coluna (soltar no campo referente a linha), como se observa ao lado. Logo aparecerão automaticamente os nomes das espécies nesta coluna **(2)**.

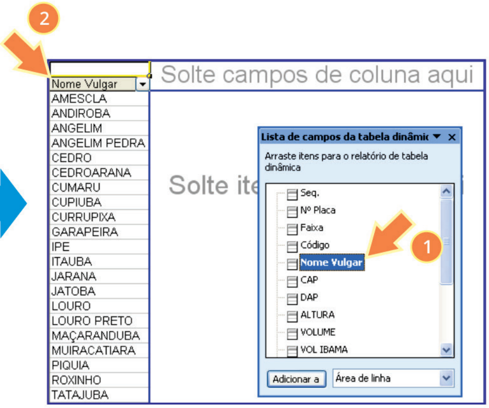


Figura 17 - Seleção das variáveis colunas da tabela dinâmica para o volume.

13. No campo referente a Coluna deverá ser colocado as informações relativas a destinação das espécies (categoria em que elas se encontram). Clicar com o botão esquerdo, pressionar e arrastar para o campo concernente a coluna.

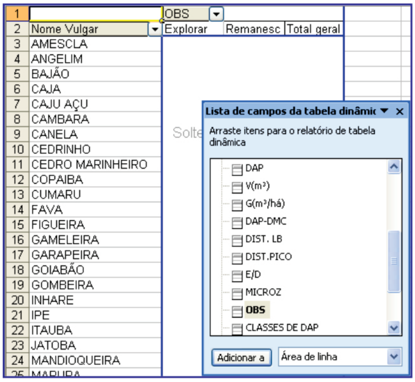


Figura 18 - Procedimento para obtenção do volume por espécie selecionada.

14. No campo referente aos dados deverão ser colocadas as informações relativas ao Volume – Clicar com o botão esquerdo, pressionar, arrastar e soltar no campo referente aos dados.

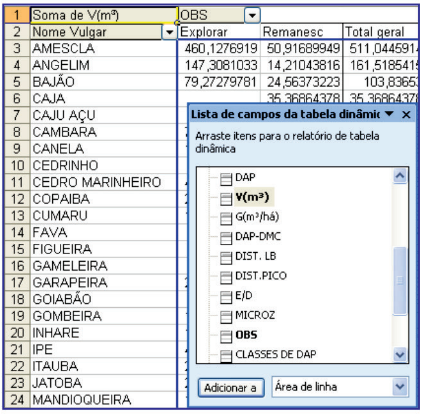
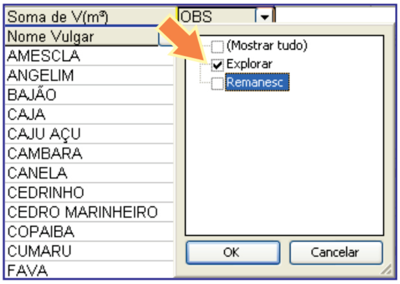
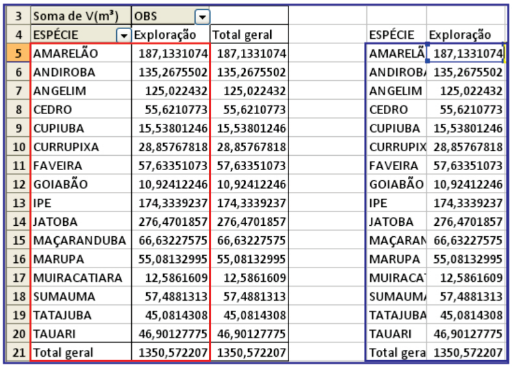


Figura 19 - Procedimento para obtenção do volume total por espécie selecionada.

15. Na seta, referente às diferentes categorias, (Ex.: da OBS), da tabela dinâmica, desmarcar os itens que não se referem a exploração, ou seja, os indivíduos destinados a "reserva" ou "remanescente".

Realizado este ponto, o técnico obterá o volume total, por espécie, requerido no processo.





3	Soma de V(m³)	OBS			
4	ESPÉCIE	Exploração	Total geral	ESPÉCIE	Exploração
5	AMARELÃO	187,1331074	187,1331074	AMARELÃ	187,1331074
6	ANDIROBA	135,2675502	135,2675502	ANDIROB/	135,2675502
7	ANGELIM	125,022432	125,022432	ANGELIM	125,022432
8	CEDRO	55,6210773	55,6210773	CEDRO	55,6210773
9	CUPIUBA	15,53801246	15,53801246	CUPIUBA	15,53801246
10	CURRUPIXA	28,85767818	28,85767818	CURRUPIX	28,85767818
11	FAVEIRA	57,63351073	57,63351073	FAVEIRA	57,63351073
12	GOIABÃO	10,92412246	10,92412246	GOIABÃO	10,92412246
13	IPE	174,3339237	174,3339237	IPE	174,3339237
14	JATOBA	276,4701857	276,4701857	JATOBA	276,4701857
15	MAÇARANDUBA	66,63227575	66,63227575	MAÇARAN	66,63227575
16	MARUPA	55,08132995	55,08132995	MARUPA	55,08132995
17	MUIRACATIARA	12,5861609	12,5861609	MUIRACA	12,5861609
18	SUMAUMA	57,4881313	57,4881313	SUMAUM/	57,4881313
19	TATAJUBA	45,0814308	45,0814308	TATAJUBA	45,0814308
20	TAUARI	46,90127775	46,90127775	TAUARI	46,90127775
21	Total geral	1350,572207	1350,572207	Total gera	1350,572207

Ctrl + C
(Copiar)

Ctrl + V
(Colar)

Figura 20 - Procedimento para obtenção do volume por hectare por espécie.

16. Para o cálculo do volume por hectare, deverá ser criada na célula ao lado do nome da última variável (neste caso, corresponde à variável “Exploração”) uma célula com o título de Vol/ha. Logo abaixo, na mesma célula, criar uma fórmula, dividindo o valor da exploração pela área de efetivo manejo, determinada no Laudo Técnico da Gerência de Geotecnologia (SEMAS). Posteriormente, arrastar (clicar no cursor e arrastar até a última célula correspondente ao volume por espécie/ha).

Exemplo: F5 / 57,87, sendo que F5 é igual ao volume total a ser explorado da espécie “AMARELÃO” na área de efetivo manejo de 57,87ha, como se observa na figura abaixo:

Soma de V(m³)	OBS					
ESPÉCIE	Exploração	Total geral		ESPÉCIE	Exploração	Vol/há
AMARELÃO	187,1331074	187,1331074		AMARELÃ	187,1331074	=F5/57,87
ANDIROBA	135,2675502	135,2675502		ANDIROB	135,2675502	
ANGELIM	125,022432	125,022432		ANGELIM	125,022432	
CEDRO	55,6210773	55,6210773		CEDRO	55,6210773	
CUPIUBA	15,53801246	15,53801246		CUPIUBA	15,53801246	
CURRUPIXA	28,85767818	28,85767818		CURRUPIX	28,85767818	
FAVEIRA	57,63351073	57,63351073		FAVEIRA	57,63351073	
GOIABÃO	10,92412246	10,92412246		GOIABÃO	10,92412246	
IPE	174,3339237	174,3339237		IPE	174,3339237	
JATOBA	276,4701857	276,4701857		JATOBA	276,4701857	
MAÇARANDUBA	66,63227575	66,63227575		MAÇARAN	66,63227575	
MARUPA	55,08132995	55,08132995		MARUPA	55,08132995	
MUIRACATIARA	12,5861609	12,5861609		MUIRACA	12,5861609	
SUMAUMA	57,4881313	57,4881313		SUMAUM	57,4881313	
TATAJUBA	45,0814308	45,0814308		TATAJUBA	45,0814308	
TAUARI	46,90127775	46,90127775		TAUARI	46,90127775	
Total geral	1350,572207	1350,572207		Total gera	1350,572207	

Soma de V(m³)	OBS					
ESPÉCIE	Exploração	Total geral		ESPÉCIE	Exploração	Vol/há
AMARELÃO	187,1331074	187,1331074		AMARELÃ	187,1331074	3,233681
ANDIROBA	135,2675502	135,2675502		ANDIROB	135,2675502	2,337438
ANGELIM	125,022432	125,022432		ANGELIM	125,022432	2,160401
CEDRO	55,6210773	55,6210773		CEDRO	55,6210773	0,961138
CUPIUBA	15,53801246	15,53801246		CUPIUBA	15,53801246	0,268499
CURRUPIXA	28,85767818	28,85767818		CURRUPIX	28,85767818	0,498664
FAVEIRA	57,63351073	57,63351073		FAVEIRA	57,63351073	0,995913
GOIABÃO	10,92412246	10,92412246		GOIABÃO	10,92412246	0,18877
IPE	174,3339237	174,3339237		IPE	174,3339237	3,012509
JATOBA	276,4701857	276,4701857		JATOBA	276,4701857	4,777435
MAÇARANDUBA	66,63227575	66,63227575		MAÇARAN	66,63227575	1,151413
MARUPA	55,08132995	55,08132995		MARUPA	55,08132995	0,951811
MUIRACATIARA	12,5861609	12,5861609		MUIRACA	12,5861609	0,21749
SUMAUMA	57,4881313	57,4881313		SUMAUM	57,4881313	0,993401
TATAJUBA	45,0814308	45,0814308		TATAJUBA	45,0814308	0,779012
TAUARI	46,90127775	46,90127775		TAUARI	46,90127775	0,810459
Total geral	1350,572207	1350,572207		Total gera	1350,572207	23,33804

Realizado este passo, têm-se o volume total estimado, em $m^3.ha^{-1}$, para uma determinada Área de Manejo Florestal (AMF).

O volume total por ha da AMF não deverá ultrapassar 30m³/ha. No exemplo, apresentado na Figura 20 correspondeu 23,3380m³/ha. Caso fosse superior ao permitido, o técnico responsável pela análise deve solicitar as adequações necessárias. Outra observação importante é sobre o volume por espécie. Um volume/ha alto por espécie, na maioria das vezes requer uma confirmação em campo (o técnico deverá seguir o procedimento interno da Secretária Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade).

2 EQUAÇÃO DE VOLUME

No âmbito do manejo florestal o conhecimento das características dendrométricas da floresta torna-se imprescindível quando se almeja à produção de madeira sob regime sustentado. Tais informações podem ser obtidas por meio de inventário florestal a partir do qual inúmeras variáveis podem ser direta ou indiretamente mensuradas (diâmetro com casca a 1,30m do solo ($DAP_{c/c}$), altura estimada (H), qualidade do fuste (QF), etc.).

A expressão quantitativa mais usada em florestas é o volume de madeira, que se constitui em informação imprescindível para os Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS. Diversos métodos para estimar o volume de árvores em pé têm sido descritos (CAMPOS; LEITE, 2013). Todavia, a melhor maneira de determinar o volume das árvores é pela utilização da técnica denominada de "Tabela (equação) de volume do povoamento" ou segundo Soares; Neto; Souza (2011), "cubagem rigorosa". Couto; Bastos (1987), afirmaram que o método da equação de volume é o mais preciso dos métodos de determinação de volume de árvores em pé, contrapondo-se aos métodos de volume geométrico e da área basal. Husch; Miller; Beers (1972) classificaram as tabelas de volume em três categorias: tabelas padrão (ou de dupla entrada), onde o volume é função do diâmetro a 1,30m do solo (Diâmetro a Altura do Peito - DAP) e da altura; tabelas locais, onde o volume é função, apenas, do DAP; e tabelas por classe de forma, onde o volume é função do diâmetro, altura e uma medida da forma de árvore. Silva et al. (1984) afirmaram que as tabelas

padrão são mais precisas que as tabelas locais, porque elas envolvem, além do diâmetro, a altura como variável independente (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelos encontrados na literatura para determinação de equações de volume

Variável independente	Autor	Equações
DAP	Kopezky-Gehrardt	$V = b_0 + b_1 d^2$ ($V = b_0 + b_1 g$)
	Dissescu-Meyer	$V = b_1 d + b_2 d^2$
	Hohenaldl-Krenn	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
	Berkhout	$V = b_0 + b_1 d$ ($V = b_0 d^{b1}$)W
	(B. Husch [1963])	$logV = b_0 + b_1 logd$
	Brenac	$logV = b_0 + b_1 logd + b_2 (1/d)$
DAP/H	(S. H. Spurr [1952])	$V = b_1 d^2 h$
	(S. H. Spurr [1952])	$V = b_0 + b_1 d^2 h$
	Ogaya	$V = d^2 (b_0 + b_1 h)$
	Stoate	$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h$
	Naslund	$V = b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 dh^2 + b_4 h^2$
	Meyer	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h + b_5 h$
	Meyer (Modificada)	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h$
	Takata	$V = {d^2 h}/{b_0} + b_1 d$
	Schumacher-Hall	$logV = b_0 + b_1 logd + b_2 logh$ ($V = \beta_0 . d^{\beta_1} . h^{\beta_2} . \varepsilon_i$)
	(S. H. Spurr [1952])	$logV = b_0 + b_1 log(d^2 h)$
	Fed.Rep. Germany	$logV = b_0 + b_1 logd + b_2 log^2 d + b_3 logh + b_4 log^2 h$

Fonte: Loetsch; Zohrer; Haller (1973) e Campos; Leite (2013).

Onde:

V= volume comercial;

d= diâmetro a 1,30m do solo

h= altura comercial (m);

log= logaritmo decimal;
ε = componente aleatório ou erro de estimativa;
b_0 ou β_0, b_1 ou β_1, b_2 ou β_2, b_3, b_4 e b_5 = coeficientes de regressão.

A vantagem das equações de volume é o cálculo de volume sólido, árvore a árvore, a partir de modelos matemáticos, especialmente, testados para apresentar os menores erros possíveis (COUTO; BASTOS, 1987). Contudo, a maioria dos PMFS apresentados à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará - SEMAS utiliza o método do volume geométrico, cujo volume real da madeira é obtido por meio da multiplicação deste pelo fator de forma de no máximo 0,7 (considerado fator médio para todas as espécies da Amazônia), conforme preconiza o Artigo 28º da Instrução Normativa da SEMA/PA Nº 05, de 19/05/2011 (PARÁ, 2011a) e Artigo 24º da Instrução Normativa da SEMA/PA Nº 05 de 10/09/2015 (PARÁ, 2015).

Na esfera legal a Instrução Normativa do IBAMA Nº 30 de 31/12/2002 (BRASIL, 2003), dispôs sobre o cálculo do volume geométrico de árvores para a Amazônia, determinando a utilização da equação de volume para as áreas submetidas ao PMFS. Muito embora a IN30 tenha sido revogada, o advento da Instrução Normativa do MMA Nº 05 de 11/12/2006 (BRASIL, 2006), da Norma de Execução/IBAMA Nº 1, de 24/05/2007 (BRASIL, 2007), da Resolução do CONAMA Nº 406, de 02/02/2009 (BRASIL, 2009) e Instrução Normativa da SEMA/PA Nº 05 de 10/09/2015 (PARÁ, 2015), retomou a necessidade de cobrança da equação de volume a partir do segundo Plano Operacional Anual - POA. Em seu Artigo 10º, a Resolução do CONAMA Nº 406/2009 (BRASIL, 2009) dispõe o seguinte:

> Art. 10º. A partir do segundo Plano Operacional Anual - POA, só será aceito pelo órgão ambiental competente o cálculo do volume de árvores em pé, mediante equação de volume desenvolvida especificamente para o PMFS.

Vale ressaltar que a definição de modelos volumétricos específicos para as Áreas de Manejo Florestal - AMF não tem por finalidade

aumentar ou diminuir o volume de madeira a ser concedido no âmbito das autorizações de exploração florestal pelos órgãos ambientais competentes, mas estimar com maior precisão o volume existente na AMF. Silva (2007) ratificou que o emprego de equações volumétricas desenvolvidas especificamente para as áreas de manejo florestal se constitui no procedimento mais eficiente, econômico e com precisão aceitável, para a quantificação da produção do volume de madeira da floresta.

2.1 Volume

Na execução de inventários florestais é necessário definir a unidade de medida em que o volume será expresso, bem como as referências para a obtenção dos volumes, ou seja, os diâmetros mínimos de inclusão das árvores, e quais partes deste serão incluídas nas estimativas de volume (SOARES; NETO; SOUZA, 2011).

A expressão quantitativa mais usada em florestas de produção é o volume de madeira. Os volumes das árvores podem ser estimados por meio de relações previamente estabelecidas entre eles e dimensões facilmente mensuráveis. Diâmetro e altura são as variáveis independentes geralmente utilizadas para estimar o volume de madeira. O resultado final de uma relação desse tipo pode ser apresentado em forma de tabela, chamada de tabela de volume (HUSCH; MILLER; BEERS, 1972).

Em florestas tropicais há a dificuldade de visualização das copas de determinadas árvores, devido principalmente, o adensamento do dossel. Dessa forma, não há ponto de referência para mensuração da altura total[8]. Em virtude disso a precisão dessa medida é comprometida, o que poderá ocasionar superestimação ou subestimação do verdadeiro valor da altura, ocasionando, consequentemente erros na determinação do volume comercial. Para estimação da altura exige-se treinamento, atividade que demanda tempo e custo, para o empreendimento.

---

[8] Distância vertical considerada desde o chão até o ápice da copa (IMANÃ-ENCINAS; SILVA; TICCHETTI, 2002). Segundo os mesmos autores, de acordo com a parte da árvore que se deseja medir, a altura distingue-se, ainda, em altura do fuste, comercial, do toco, e da copa.

A medida da circunferência a 1,30m do solo (CAP) ou do diâmetro a 1,30m do solo[9] (DAP) da árvore é aplicada no cálculo do volume estimado de madeira das árvores inventariadas no PMFS. O DAP ou CAP (Figura 21) são variáveis mensuradas diretamente em campo, por meio da utilização de trenas diamétrica ou centimétrica, o que possibilita a obtenção de um dado mais confiável. Do ponto de vista técnico, as equações de volume de dupla entrada (V= f (DAP; H)) são mais precisas estatisticamente.

Figura 21 - Medição do diâmetro a 1,30m do solo.



O volume total de madeira existente em uma dada área é a soma do volume dos fustes comerciais de todas as árvores localizadas e inventariadas nesta área. Para o cálculo do volume é necessário a utilização das duas variáveis dendrométricas supramencionadas (Circunferência ou Diâmetro e Altura Comercial). Outra variável que deverá ser observada é a qualidade do fuste das árvores selecionadas para a exploração. A qualidade do fuste é determinada de acordo com critérios estabelecidos pela própria empresa, como por exemplo, o grau de aproveitamento.

Para a obtenção de estimativas de volume/ha, com precisão aceitável, devem-se utilizar equações de volume, modelos de *taper*[10] e múl-

[9] Nas árvores com sapopemas, cipós, casas de cupins etc. a medição deverá ser feita preferencialmente a 30cm acima desse ponto.

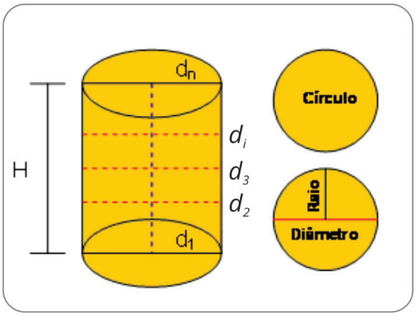
[10] Descreve o afilamento natural do fuste da árvore (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011).

tiplos volumes[11]. Neste manual será demonstrada a obtenção de equações de volume.

2.1.1 Volume geométrico

No método de volume geométrico, o volume da madeira é obtido a partir da multiplicação do volume cilíndrico (Figura 22) por um fator de forma médio da floresta (COUTO; BASTOS, 1987).

Figura 22 - Cálculo do volume do cilindro da árvore.





$$d_1 = d_2 = d_j = d_n$$

Volume do cilindro (V_c): base x altura

Área da base:

$$\frac{\pi d^2}{4} = 0{,}7854 \times d^2$$

ou

$$\frac{C^2}{4.\pi}$$

$$V_c = \frac{\pi d^2}{4} \times H$$

onde:
Vc: volume do cilindro
π: constante pi (3,14159)
d: diâmetro a 1,30m do solo
C: circunferência a 1,30m do solo
H: altura

[11] Estimação de volume de partes do fuste das árvores para diversos usos (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011).

2.1.2 Volume real da árvore em pé

A partir do diâmetro de referência de um cilindro, é possível calcular o volume real da árvore (com ou sem casca) em um formato geométrico perfeito. Contudo, sabe-se que os indivíduos arbóreos apresentam uma conicidade intrínseca à característica de cada espécie, bem como em relação ao seu habitat natural. Dada a diversidade de formas e graus de afilamentos das espécies tropicais, surge a necessidade de corrigir o volume do cilindro para o volume real da árvore. Neste contexto, os estudiosos têm lançado mão da utilização do fator de forma, que nada mais é do que um fator que permite corrigir o volume do cilindro para o volume real da árvore em pé.

Soares; Paula Neto; Souza (2011) afirmaram que essa relação entre os volumes (real e do cilindro) é definida por:

$$ff = \frac{V_{árvore}}{V_{cilindro}},\ sendo\ f < 1,$$

$$\frac{ff}{1} = \frac{V_{árvore}}{V_{cilindro}} \Rightarrow V_{árvore} = V_{cilindro} \times ff$$

$$V_{árvore} = \frac{\pi d^2}{4} \times H \times ff \therefore 0{,}7854 \times d^2 \times H \times 0{,}7$$

$$V_{árvore} = 0{,}55 \times DAP^2 \times H$$

onde:

$V_{árvore}$: volume da árvore

$V_{cilindro}$: volume do cilindro

ff: fator de forma*

π: constante pi (3,14159)

d ou DAP: diâmetro a altura do peito

H: altura

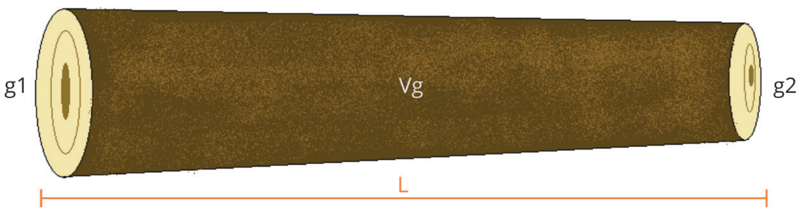
* O fator de forma médio para a Amazônia é de 0,7 (HEINSDIJK, 1963).

Nas florestas tropicais o fator de forma torna-se impreciso devido às árvores não apresentarem a mesma conicidade. Este deverá ser utilizado, somente, nas situações em que não se tenha nenhuma informação sobre a forma da árvore. O fator de forma, no entanto, não garante a precisão do volume. Deste modo, há a necessidade de um modelo matemático que explique a relação entre volume e as variáveis dendrométricas DAP e H.

2.1.3 Volume francon (volume comercial de toras)

O Volume Francon (Vf) é igual ao volume total da tora (Volume geométrico) (Figura 23) multiplicado pelo fator 0,785.

Figura 23 - Medidas para obtenção do volume geométrico de toras



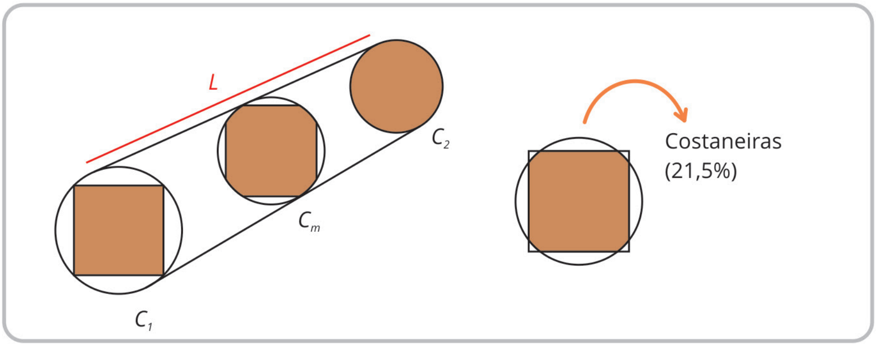
$$V_g = (g_1 + g_2)/2 \times L$$

onde:

Vg: volume geométrico (m^3)
g_1: área transversal 1 (m^2)
g_2: área transversal 2 (m^2)
L: comprimento (m)

O Volume Francon (Vf) é o volume de uma tora esquadrejada, ou o volume no qual foi excluído as costaneiras, que são os resíduos eliminados para a obtenção do volume esquadrejado, que, em geral, corresponde a 21,5% da tora (Figura 24). O volume francon é o volume comercial de toras adotada por toda região amazônica.

Figura 24 - Medidas para obtenção do volume de tora esquadrejada.



onde:
C_1: circunferência da extremidade 1
C_2: circunferência da extremidade 2
Cm: circunferência mediana
L: comprimento da secção ou tora

Fonte: Campos; Leite (2013).

A diferença entre o volume geométrico e o volume francon de uma tora é de 21,5%.

Exemplificando: Uma tora com volume geométrico de 10m³, apresentará um volume francon de 7,85m³.

Como obter o volume Francon mensurando diretamente a tora?

O volume francon poderá ser obtido a partir do volume geométrico, pela seguinte fórmula:

$V_f = Vg \times 0{,}785$

onde:

V_f: volume francon
V_g: volume geométrico do fuste

A circunferência deverá ser mensurada no meio da tora com ou sem a casca.

$$V_f = \left(\frac{C}{4}\right)^2 \times L$$

onde:

V_f: volume francon
C: circunferência com ou sem casca na metade do comprimento da tora, em m
L: comprimento da tora

2.2 Volume real

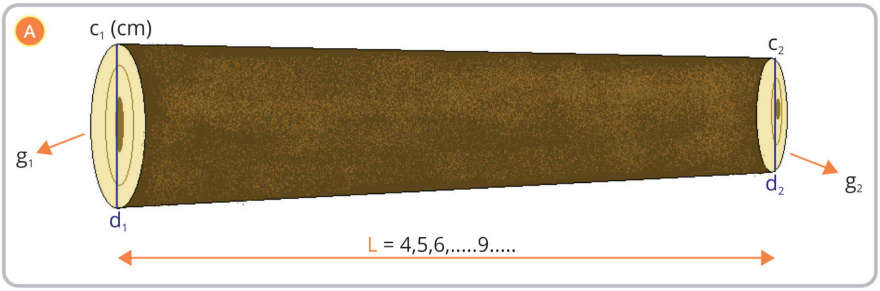
O volume real é calculado por meio do método da área basal (Figura 25 A e B), multiplicando-se a área basal do povoamento pela altura média e pelo fator de forma médio (COUTO; BASTOS, 1987).

2.2.1 Método geométrico

Fuste – parte do tronco das árvores desprovida de ramificações consideradas;

Tora – parte seccional do fuste que é utilizada no comércio (o tamanho depende do fim a que se destina).

Figura 25 - Medidas para obtenção do volume real do fuste a partir do método geométrico.

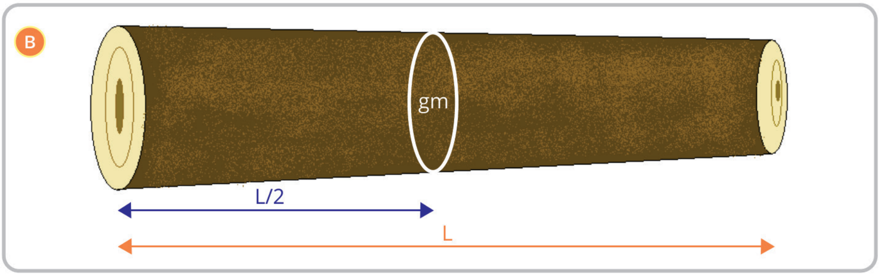


$$C_1 \rightarrow d_1 \quad g_1 = \frac{(c_1/100)^2}{4\pi} \text{ ou } g_1 = \frac{\pi\,(d_1/100)^2}{4}$$

$$C_2 \rightarrow d_2 \quad g_2 = \frac{(c_2/100)^2}{4\pi} \text{ ou } g_2 = \frac{\pi\,(d_2/100)^2}{4}$$

$$V_g = \frac{(g_1 + g_2)}{2} \times L$$

onde:
c_1 e c_2 : circunferência da base 1 e 2
d_1 e d_2: diâmetro da face 1 e 2
g_1 e g_2: área transversal da face 1 e 2
π: constante pi (3,14159)
L: comprimento
Vg: Volume geométrico da tora



$$V_g = g_m \times L$$

onde:
Vg: volume geométrico
gm: área transversal medida no meio da tora
L: comprimento da tora

2.2.2 Método matemático

A quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentável das florestas. Para quantificar esse volume executa-se um inventário florestal que consiste na medição de parte da população, isto é, de unidades amostrais ou parcelas, para depois extrapolar os resultados para a área total. Visando planejar as operações florestais, têm-se estimativas da quantidade e da distribuição da madeira disponível. O volume de cada parcela é obtido com o uso de modelos hipsométricos em conjunto com modelos volumétricos, de *taper* ou de múltiplos volumes. Para a obtenção das equações desses modelos, executa-se uma cubagem rigorosa (volume real) em árvores-amostra abatidas (LEITE; ANDRADE, 2002).

Em florestas tropicais é aconselhável a construção de tabelas de volume por espécie ou pelo menos para grupo de espécies que apresentem características de copa e de fuste semelhantes. Contudo, sabe-se das dificuldades de obtenção dos dados relativos ao volume das árvores, em função de suas dimensões e distribuição na floresta. Desta forma, espera-se que sejam construídas tabelas, pelo menos, para o grupo de espécies de interesse comercial.

Para a determinação das equações de volume por meio da realização de cubagem rigorosa, a frequência dos dados deverá estar diretamente relacionada com a variação em diâmetro e forma das árvores da população. Soares; Paula Neto; Souza (2011) relataram que, as árvores selecionadas para a cubagem rigorosa devem representar a distribuição diamétrica da floresta, devendo abranger todas as classes de DAP. Estes mesmos autores afirmaram que é necessária a realização da cubagem de um número de árvores suficiente para caracterizar a variância dos volumes dentro de cada classe diamétrica, sugerindo a mensuração de cinco a sete árvores por classe de diâmetro.

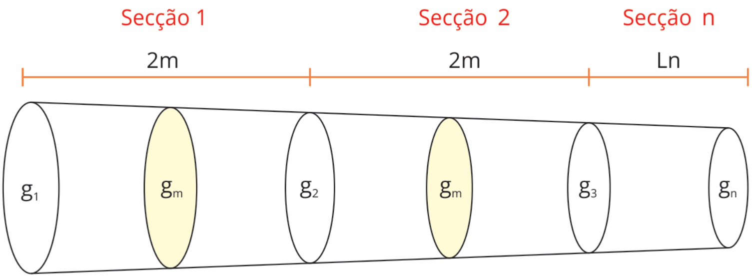
Considerando um número muito pequeno de estudos realizados na Amazônia, não se tem, ainda, um número aproximado de árvores

necessárias para a construção da tabela de volume. Assim sugere-se, que no caso de um grupo de espécies nativas da floresta tropical, seja mensurada de 100 a 150 árvores para um bom ajuste de um modelo volumétrico.

(a) Volume real segundo a metodologia de Huber

A determinação do volume real por Huber é mais precisa que Smalian (ver item c), pois é relativo à média das áreas das secções (Figura 26).

Figura 26 - Medidas da área transversal para a obtenção do volume real segundo a metodologia de Huber.



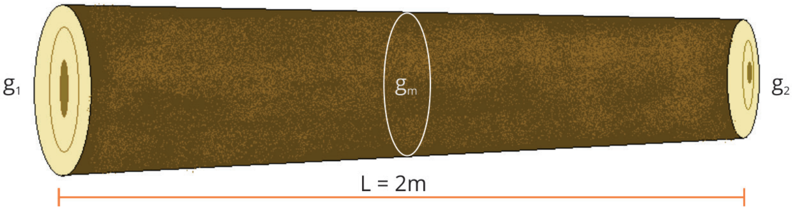
$V_{real} = g_m \times L$

onde:
V_{real}: volume real
g_m: área transversal média
$g_{1..n}$: área transversal de 1 a n
L: comprimento

(b) Volume real segundo a metodologia de Newton

Este autor realizou a junção das fórmulas de Huber e Smalian (ver item *c*). Desta forma Newton é mais preciso que Huber (Figura 27).

Figura 27 - Medidas da área transversal para a obtenção do volume real segundo a metodologia de Newton.



$$V_{real} = \frac{g_1 + 4g_m + g_2}{6} \cdot L$$

onde:

V_{real}: volume real

g_m: área transversal média

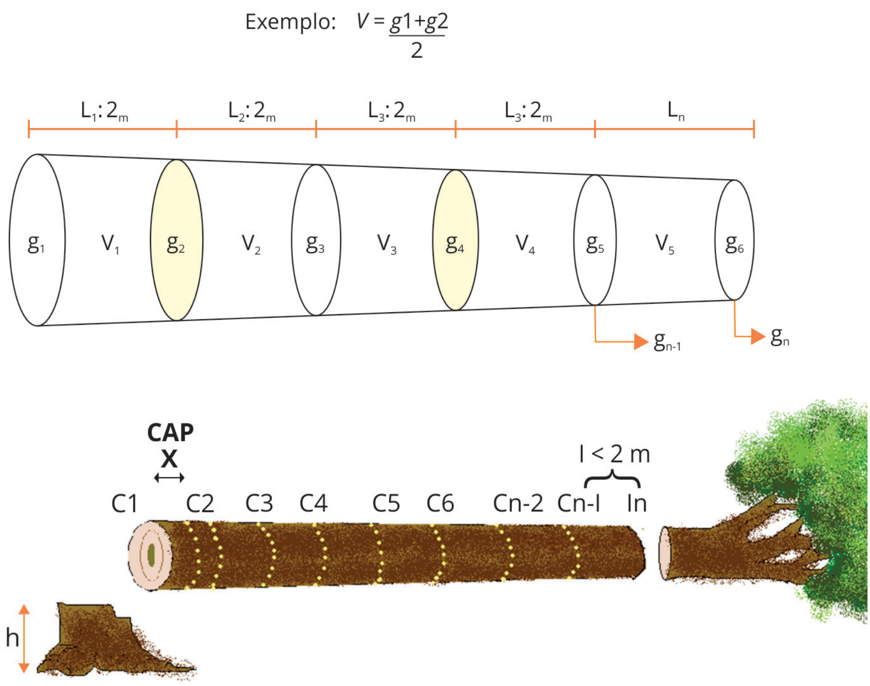
g_1: área transversal da face 1

g_2: área transversal da face 2

(c) Volume real segundo a metodologia de Smalian

O volume de Smalian é calculado em secção de 2m de comprimento (Figura 28), por meio da média das áreas transversais dos extremos da secção multiplicado pelos seus comprimentos:

Figura 28 - Medidas da área transversal para a obtenção do volume real segundo a metodologia de Smalian.



Para a obtenção dos dados a medição da circunferência deverá ser feita a cada 2m ao longo do fuste da árvore, onde o último segmento poderá ser menor que 2m. A circunferência 1 (C1) deverá ser medida no extremo 1. O cálculo das áreas (gn) das secções é realizado em função das circunferências (Cn).

$$V_{real} = V_1+V_2+V_3+V_4+V_5$$

$$V_{real} = \sum_{i=1}^{n} V_i$$

$$V_1 = \frac{g_1 + g_2}{2} \times 2$$

$$V_2 = \frac{g_2 + g_3}{2} \times 2$$

$$V_3 = \frac{g_3 + g_4}{2} \times 2 \rightarrow g_{n-2}$$

$$V_4 = \frac{g_4 + g_5}{2} \times 2 \rightarrow g_{n-1}$$

$$V_5 = \frac{g_5 + g_6}{2} \rightarrow V_5 = \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \times L_n$$

onde:

V_{real}: volume real
V_1: volume da secção 1
:
V_{n-2}: volume da antepenúltima secção
V_{n-1}: volume da penúltima secção
V_n: volume da última secção
g_1: área transversal 1
:
g_{n-2}: área transversal da antepenúltima secção
g_{n-1}: área transversal da penúltima secção
g_n: área transversal da última secção
$L_{1\ a\ n}$: comprimento das diferentes secções
L_n: comprimento da última secção

$$V_{real} = \sum_{i=1}^{n} V_i = g_1 + g_2 + g_2 + g_3 + g_3 + g_4 + g_4 + g_{n-1} + \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \times L_n$$

$$V_{real} = \sum_{i=1}^{n} V_i = g_1 + 2g_2 + 2g_3 + 2g_4 + g_{n-1} + \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \times L_n$$

Fórmula geral segundo Smalian

$$V_{real} = g_1 + g_{n-1} + 2(g_2 + g_3 + g_4 + \cdots + g_{n-2}) + \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \times L_n$$

Para a coleta de dados em campo recomenda-se a utilização da ficha de campo conforme modelo apresentado abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 - Modelo de ficha de campo.

FICHA DE CAMPO										
N	ESPÉCIE	N° árv	CAP (cm)	H (m)	C1	C2	C3	C4	**...**	**Cn**
1	MAÇARANDUBA	85	282	10						
2	ANGELIM	235	326	17						
3	ANGELIM	401	345	18						

Na ficha de campo deverão constar as seguintes informações: número da árvore, segundo o IF 100%; identificação da espécie; circunferência a 1,30m do solo; altura e circunferências medidas de 2 em 2m ao longo do fuste.

Precisão do cálculo do volume real

Smalian < Huber < Newton

Apesar de Smalian apresentar menor precisão, em relação aos demais, não há diferença significativa entre os resultados dos volumes, sendo mais viável utilizar Smalian, em razão da praticidade em campo quando comparada as duas outras metodologias.

3 REGRESSÃO

Regressão é o estudo entre duas variáveis ou grupos de variáveis onde se procura estimar o valor de uma a partir do conhecimento de outra(s). Esta relação se dá entre uma variável dependente e outra independente.

Na matemática, essa relação é tratada no estudo das funções. Quando uma variável Y depende de outra variável X, diz-se que Y é função de X. Na estatística, temos regressão de Y sobre X (CASTANHEIRA, 2008).

Na estatística os parâmetros são em geral representados pelas letras gregas, que significa verdadeiro valor, ou valor real. Geralmente o parâmetro não é conhecido, pois se costuma trabalhar com amostragens e não com a população total, e dessa forma determina-se a estimativa do parâmetro (um valor mais próximo do parâmetro).

Modelo Matemático:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

onde:

Y = parâmetro da variável dependente ou variável resposta

β_0 = parâmetro do coeficiente de interseção

β_1 = parâmetro do coeficiente de inclinação/regressão

X = parâmetro da variável independente (independe de qualquer outra variável, isto é, aquela medida no campo)

ε = componente aleatório ou erro de estimativa

A variável **Y (parâmetro) do modelo** não tem erro, visto que o erro da estimativa da variável em análise é computado a parte, recebendo a denominação de **erro de estimativa**.

Nota: O que vai determinar se a variável é dependente ou independente?

Esta avaliação dependerá da maior ou menor facilidade de obtenção da variável em campo.

Exemplo:

DAP – tem maior facilidade de ser mensurado diretamente no campo, sendo considerado, então, como variável independente.

Volume – esta variável é obtida por meio de outras variáveis, DAP e/ou altura, desta forma é considerada uma variável dependente.

3.1 Classificação dos modelos de regressão

A análise de regressão é um método estatístico que permite correlacionar o efeito de diversos fatores, medidos por variáveis chamadas variáveis explicativas, sobre um determinado fenômeno, medidos por meio de outra variável, denominada variável explicada. Contudo, para que a regressão possa ser útil, é necessário: construir corretamente um modelo, estimar os parâmetros a partir dos dados relativos às variáveis e interpretar os resultados (CASTANHEIRA, 2008).

3.1.1 Modelo linear simples

É considerada linear toda função de primeiro grau[12], cuja representação é uma reta, e simples por tratar-se de um modelo aplicado a

[12] Modelo Linear é aquele que é aditivo e o expoente é igual a 1.

dados cuja dispersão é constante e nos quais está sendo utilizada, apenas, uma variável independente (Figura 29). A outra variável que está sendo calculada é a dependente (CASTANHEIRA, 2008). É um modelo linear, pois existe uma relação de soma, isto é, os termos são aditivos.

$$(1)\ Y_i = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_i$$

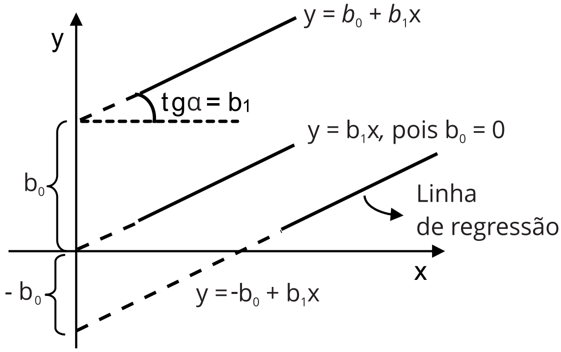
$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$(2)\ y = b_0 + b_1 x$$

Parâmetros da regressão (1)
β_0 = coeficiente de intercessão da regressão
β_1 = coeficiente de inclinação da regressão
ε_i = componente aleatório (erro de estimativa)

(2) é considerado um MODELO DE EQUAÇÃO
(i) b_0 e b_1 são coeficientes estimados.
(ii) na equação, o erro não aparece, pois está distribuído na variável, que é uma estimativa e não o verdadeiro valor. Para isto, é necessário determiná-lo para verificar a precisão da equação.
(iii) esta equação apresenta expoente= 1 e uma variável independente (X). Desta forma temos uma REGRESSÃO LINEAR SIMPLES.

Figura 29 - Modelo de regressão linear simples



onde:
y = variável dependente (de x)
b_o= coeficiente de intercessão
b_1= coeficiente de inclinação ou coeficiente de regressão (tangente do ângulo α)
x = variável independente

Neste caso, a variável independente não é mais um parâmetro. O erro está embutido no valor de y, pois as variáveis (b_0 e b_1)[13] são es-

[13] Estes coeficientes podem ser facilmente calculados por diferentes softwares estatísticos, não cabendo seu detalhamento neste manual.

timativas (não são verdadeiros valores). Quando b_1 for igual a zero, na equação exemplificada ($y = b_0 + b_1x$) não haverá regressão.

O objetivo da análise de regressão linear simples é aproximar por uma linha reta um conjunto de pontos (CASTANHEIRA, 2008).

O primeiro passo para se obter as estimativas dos parâmetros (β) é ajustar a equação de regressão.

Para se obter as estimativas dos coeficientes (b_0, b_1, b_2..., b_n), utilizamos o método dos mínimos quadrados. Este método consiste em adotar os valores que minimizem a soma dos quadrados dos desvios. Em seguida deve-se realizar a análise de variância (Tabela 2).

$$\Sigma \varepsilon_i^2 = \Sigma(Y_i - \beta_0 + \beta_1 X_i)^2$$

Obtêm-se as equações:

$$b_0 = \bar{y} - b_1\bar{x} \qquad b_1 = \Sigma xy / \Sigma x^2$$

onde:
b_0 = coeficiente de intercessão
b_1 = coeficiente de regressão
$\bar{y}$ = média da variável dependente
$\bar{x}$ = média da variável independente
xy = produto das variáveis independente e dependente
x^2 = quadrado da variável independente

Tabela 2 - Análise de Variância.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Regressão b_0 / b_1	p	$b_1[\Sigma xy-(\Sigma x)(\Sigma y)/n]$	$SQ_{Regressão\ b0/b1}/p$	$SQ_{Regressão} / SQ_{Resíduo}$
Resíduo (Erro)	n-1-p	$SQ_{Total\ corrigido} - SQ_{Regressão\ b0/b1}$	$SQ_{Resíduo}/n-1-p$	
TOTAL	n-1	$\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2/n$		

onde:
p = é o número de variáveis independentes envolvidas no modelo
n = número de pares de observações das variáveis X e Y
$SQ_{regressão\ b0/b1}$ = Soma do quadrado da regressão de b_0, na presença de b_1

3.1.2 Modelo linear múltiplo

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n$$

Há fenômenos que somente são explicados, de forma razoável, na presença de duas ou mais variáveis independentes (X_1, X_2 e X_3) envolvidas no modelo. Nestes casos a regressão é chamada de MÚLTIPLA (CASTANHEIRA, 2008). Este mesmo autor afirmou que de modo geral os métodos de regressão múltipla são “extensões dos métodos utilizados na regressão e correlação simples”.

3.1.3 Modelo não linear

Quando todos os expoentes das variáveis independentes são iguais a 1, a regressão é considerada LINEAR. Contudo, há casos em que os fenômenos não são bem explicados por equações do primeiro grau, sendo necessária a utilização de funções de grau superior. Nesses casos a regressão recebe a denominação de NÃO LINEAR (CASTANHEIRA, 2008).

- A equação é considerada não linear quando o expoente é diferente de 1.
- Quando a equação se apresentar de forma não linear, torna-se necessário a linearização da mesma, conforme demonstrado ao lado.

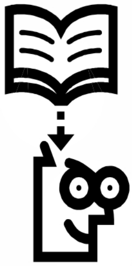
$$Y = \beta_0 . 10^{\beta 1X}$$
$$\downarrow$$
$$logY = log\beta_0 + \beta_1 X log10$$
$$\downarrow$$
$$logY = log\beta_0 + \beta_1 X$$
$$\downarrow$$
$$y = 10^{(b_0 + b_1 X)}$$

- Como linearizar uma equação? Logaritmizando a equação não-linear.

- Os programas estatísticos estão voltados geralmente para regressão linear.

O entendimento destes modelos e das variáveis independente e dependente é necessário para a correta aplicação dos dados nos programas estatísticos e na entrada de dados para análise.

Nota: Neste ponto é interessante saber o conceito de correlação.



Correlação: é o grau de relação entre duas variáveis (x e y) quaisquer, sejam dependentes ou independentes (Figura 30).

Representação (notação) → r

Medida linear que pode assumir valores positivos e negativos

Variação [-1 0 +1] ou [-100 0 +100]

O coeficiente de correlação é muito importante para os ajustamentos das equações. “R” ou “r” pode variar de -1 a +1, com os valores extremos demostrando um ajuste perfeito dos dados. O valor “0” (zero) indica que a função é incompatível com os dados (CASTANHEIRA, 2008).

Tipos de correlação:

Correlação Positiva: o aumento de uma variável acarreta no aumento da outra variável. Para que esta correlação seja perfeita, o aumento ocorre na mesma intensidade.

Correlação Negativa: o aumento de uma variável acarreta na diminuição da outra variável.

Correlação Nula: o grau de correlação é zero, ou seja, uma variável independe da outra.

$$r_{XY} = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right]\left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right]}}$$

onde:
$\sum XY$ = Soma dos Produtos
$\sum X^2$ ou $\sum Y^2$ = Soma de Quadrado
$((\sum X)(\sum Y))/n$ = Fator de Correção da Soma do Produto
$(\sum X)^2/n$ ou $(\sum Y)^2/n$ = Fator de Correção da Soma de Quadrados

então:

$$r_{XY} = \frac{\sum X}{\sqrt{(\sum X)^2 (\sum Y)^2}}$$

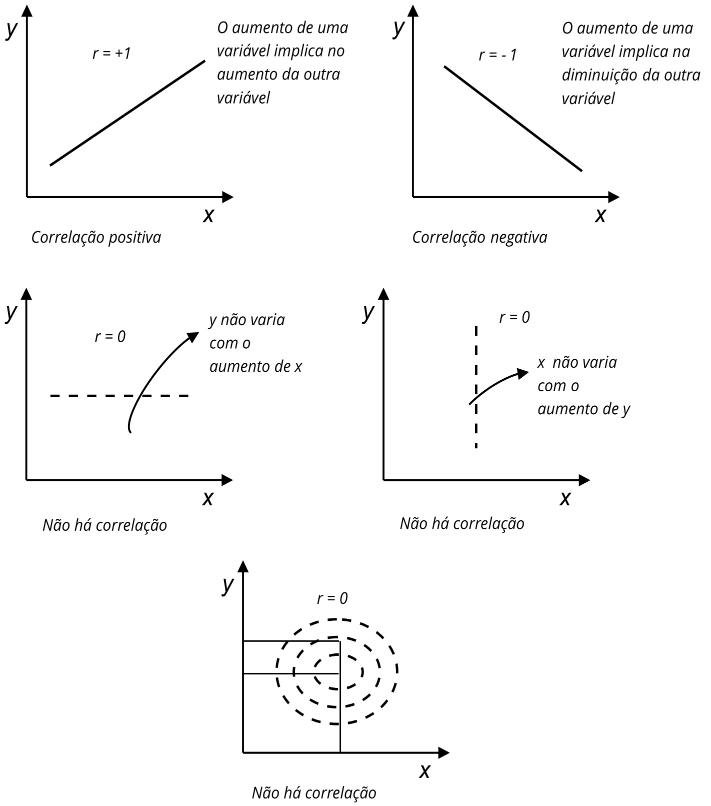
H0: $r_{xy} = 0$
H1: $r_{xy} \neq 0$
Teste **t** ou **F**

$$t_{(n-2)} = r\sqrt{n - 2/1 - r^2} \quad \text{ou} \quad F_{(n-2)} = r^2\,(n-2)\,/1 - r^2$$

Tanto o valor de t (STUDENT), quanto o valor de F serão testados com (n-2) graus de liberdade e, nível de significância $\alpha = 0{,}05$ ou $\alpha = 0{,}01$.

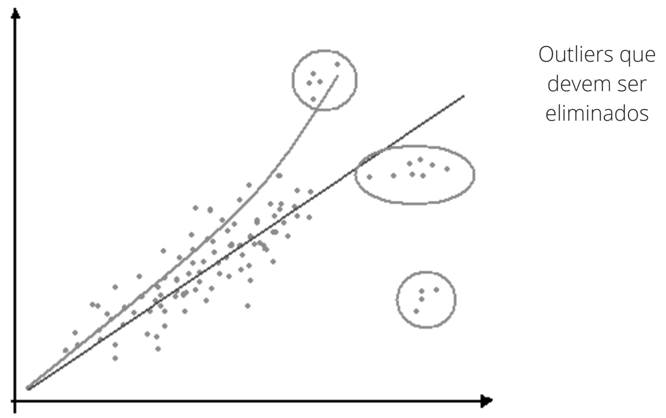
Nota: Na Soma de Quadrados e Produtos Corrigidos perde-se um grau de liberdade no total (por se trabalhar com a diferença entre os valores observados e sua média) e um grau de liberdade nos resíduos (por se trabalhar sem o coeficiente b0).

Figura 30 -Tipos de Correlação.



Na confecção do gráfico é necessário o conhecimento das variáveis dependentes e independentes e como estas estão envolvidas entre si. Outro ponto a ser observado, no gráfico, é quanto aos critérios para a eliminação dos outliers, ou seja, dos pontos extremos que estariam superestimando ou subestimando os dados em análise (Figura 31).

Figura 31 - Exemplo de Identificação de outliers no diagrama de correlação.

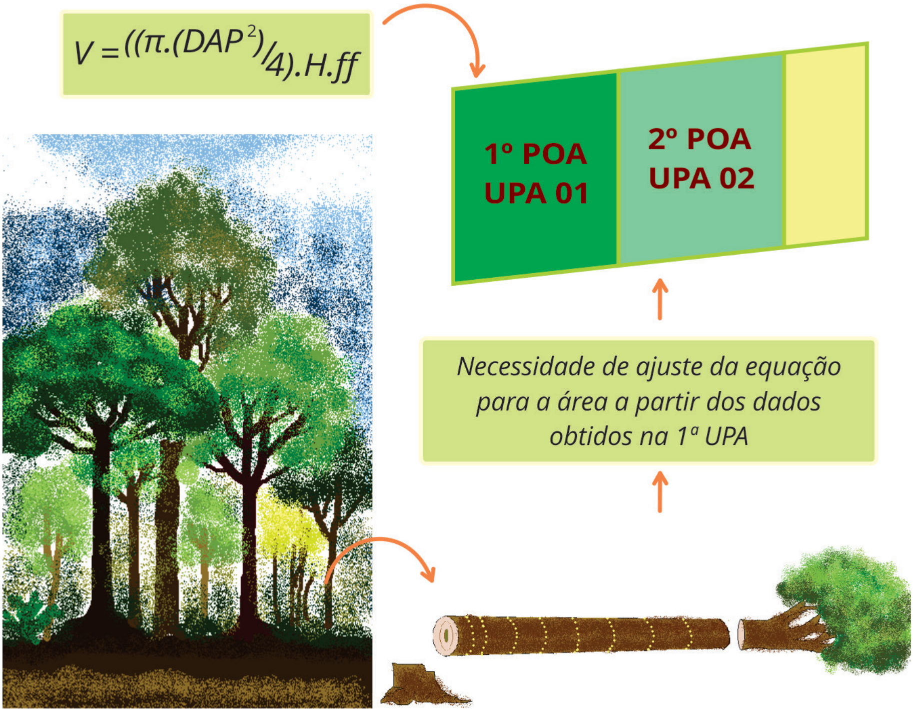


4 ELABORAÇÃO DE EQUAÇÕES DE VOLUME

Os PMFS's que apresentarem mais de uma UPA, de acordo com a Resolução do CONAMA Nº. 406 de 02/02/2009 (BRASIL, 2009) e Instrução Normativa da SEMA/PA Nº 05 de 10/09/2015 (PARÁ, 2015), deverão apresentar no segundo Plano Operacional Anual (POA) a equação de volume específica para a área.

Para o cálculo do volume da primeira UPA poderá ser utilizada a seguinte equação de volume **$V = ((\pi.DAP)^2 / 4).H.ff$**, considerando o fator de forma 0,7. Contudo, durante a atividade de exploração da 1ª UPA, deverá ser realizada a coleta de dados para o ajuste da equação de volume inerente a área do projeto (Figura 32).

Figura 32 - Derruba e traçamento de tora para o ajuste da equação de volume



É necessário observar na literatura e verificar quais as equações de volumes são mais utilizadas. É interessante que o responsável pela elaboração da equação de volume selecione pelo menos seis (6) modelos de simples entrada (ou seja, volume calculado somente em função do DAP) e seis (6) modelos de dupla entrada para cálculo de volume (este necessita de 2 variáveis, DAP e H).

Durante as atividades exploratórias deverá ser criada uma planilha que contenha o número da árvore, espécie, circunferência a 1,30m do solo e altura. Deverão ser criadas, ainda, colunas para a coleta de dados referentes às circunferências (C1, C2,...,Cn) coletadas a cada marcação de 2m conforme exposto acima (Figuras 28 e Quadro 1), as quais deverão ser mensuradas durante o período de exploração florestal. Entretanto, é importante lembrar que a variável relativa ao CAP (cm) deverá ser mensurada com a árvore em pé.

Cabe ressaltar que, as atividades referentes à coleta de dados para a elaboração da equação de volume da área só poderão ser iniciadas após a aprovação da exploração florestal mediante a liberação da Licença de Atividade Rural (LAR) e Autorização de Exploração Florestal (AUTEF).

4.1 Coleta de dados de campo

Inicialmente são coletadas as informações de cada árvore (Figura 33) explorada na área de manejo, conforme as atividades listadas abaixo:

Figura 33 - Árvore abatida com placa de identificação no toco e circunferências sinalizadas a cada dois metros.



a) Anotar o número constante na placa presente no toco da árvore abatida;
b) Anotar o nome da espécie e verificar a circunferência a 1,30m do solo da árvore em pé, com base nas anotações do IF 100%;
c) Medir o comprimento total da tora; e
d) Medir as circunferências de acordo com os seguintes passos: d.1. Marcação dos pontos a cada 2 metros; d.2. Suspensão da tora para medição das circunferências; d.3. Anotação dos dados em uma ficha de campo.

OBS.: O número de árvores coletadas deverá ser representativo de modo que a estimativa a ser realizada represente fielmente a popula-

ção. Neste ponto, devem ocorrer medições ao longo de todas as classes diamétricas e de todas as espécies comerciais a explorar. Portanto, recomenda-se um planejamento prévio à coleta de dados considerando o IF 100% e a acessibilidade as áreas (mapas logísticos).

4.2 Consistência dos dados

Verificar se os dados foram digitados corretamente (comparar os dados digitados com os dados anotados na ficha de campo).

4.3 Cálculo do volume real

a) Efetuar o cálculo do número de secções (NS) (Figura 34)

Figura 34 - Exemplo de como efetuar o cálculo do número de secções.

Fórmula no Exel: NS= INT (H/2)

onde:
NS= número de secções
H= altura



MA =INT(D4/2)

Dados de 296 árvores medidas segundo Maringá, município de Ipixuna do Pará

Espécie	CAP(cm)	H(m)	C1	C2	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	NS	LN
Faveira	203	7,87	207	203								=INT(D4/2)	
Sucupira	254	9,32	261	254									
Jarana	168	11,11	203	168									

b) Após o cálculo do NS, calcula-se o comprimento da última secção (LN) (Figura 35)

Figura 35 - Exemplo de como efetuar o cálculo do comprimento da última secção.

LN= H - (2 x NS)

onde:
LN= comprimento da última secção
H= altura
NS = número de secções

MA =D4-(2*U4)

B	C	D	E	F	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
Dados de 296 árvores medidas segundo					Maringá, município de Ipixuna do Pará								
Espécie	CAP(cm)	H(m)	C1	C2	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	NS	LN
Faveira	203	7,87	207	203								3	=D4-(2*U4)
Sucupira	254	9,32	261	254								4	

Calculados NS e LN (Figuras 34 e 35), o próximo passo é encontrar as áreas referentes a cada circunferência mencionada (Figura 36). Assim, cria-se uma planilha semelhante logo abaixo da original, substituindo as células inerentes a circunferência (C1, C2, C3,...,Cn) por área transversal (g1, g2, g3,...,gn).

Figura 36 - Exemplo de como criar uma tabela para o cálculo da área transversal de cada circunferência.

Responsável pela coleta de dados, Luciana Francez em janeiro de 2013														
Dados de 396 árvores medidas segundo a metodologia de Smalian para o cálculo do volume real, na Fazenda Bem-te-vi, município de Paragominas,Pará														
Espécie	**CAP (cm)**	**H (m)**	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**	**C11**	**C12**
Amarelão														
Canela														
Fava														
Jatobá														
Maçaranduba														
Espécie	**CAP (cm)**	**H (m)**	**g1**	**g2**	**g3**	**g4**	**g5**	**g6**	**g7**	**g8**	**g9**	**g10**	**g11**	**g12**
Amarelão														
Canela														
Fava														
Jatobá														
Maçaranduba														

Em seguida copiar somente os valores das variáveis (n, espécie, CAP, H) e colar utilizando o modo especial (valores) na tabela, a fim de dar suporte para o cálculo da área transversal.

c) Cálculo das áreas transversais (Figuras 37, 38 e Quadro 2)

Figura 37 - Exemplo de como calcular as áreas transversais.

Fórmula no Exel: g= ((Cx/100)^2/(4*PI())

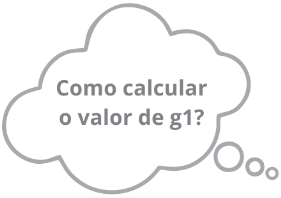
onde:
g= área transversal
Cx= corresponde a circunferência medida no campo

SOMA =((E4/100)^2)/(4*PI())

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
289	Tauari	348	25,6	351	348	345	340	337	318	313
290	Maçaranduba	184	25,2	191	184	174	179	162	159	153
291	Maçaranduba	201	24,1	207	201	196	191	180	172	169
292	Maçaranduba	240	24,86	249	240	234	221	214	213	206
293	Maçaranduba	248	24,8	252	248	228	222	212	208	200
294	Ipê	379	25,9	383	379	355	340	325	317	311
295	Pau Amarelo	296	24,04	303	296	282	264	267	277	208
296	Cumarú	331	25,61	337	331	284	259	248	235	224
297	Pau Amarelo	296	24,04	301	296	282	264	267	277	208
298	Loura Faia	248	27,6	251	248	241	228	235	218	205
299	Angelim Vermelho	389	28,07	404	389	341	327	318	322	309
300	Maçaranduba	250	28,4	259	250	233	216	219	216	200
n	Espécie	CAP(cm)	H(m)	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7
1	Faveira	2(	=((E4/100)^2)/(4*PI())			200	196	194		
2	Sucupira	254	9,32	261	254	241	240	236	234	
3	Jarana	168	11,11	203	168	160	145	138	232	230

A unidade da área transversal (g) calculada deverá ser expressa em m^2, para quando multiplicar pela altura (H), gerar a unidade em m^3.

Figura 38 - Exemplo de como calcular a área transversal g1.



Fórmula no Exel: g= ((Cx/100)^2/(4*PI())

Esta fórmula deverá ser utilizada quando a circunferência estiver em cm

Após o cálculo de g1 clicar e arrastar o cursor (+) para todas as demais células correspondentes às áreas.

É necessário atentar para a eliminação das células com valores equivalente a 0 (ZERO), que possivelmente ocorrerão nas últimas áreas transversais.

E313 =((E10/100)^2)/(4*PI())

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Espécie	**CAP(cm)**	**H(m)**	**g1**	**g2**	**g3**	**g4**	**g5**	**g6**	**g7**
Faveira	203	7,87	0,340981508	0,327930802	0,318309886	0,305704815	0,299497772		
Sucupira	254	9,32	0,542089694	0,513402015	0,462193912	0,458366236	0,443214686	0,435734403	
Jarana	168	11,11	0,327930802	0,224599456	0,203718327	0,167311634	0,151547337	0,428317783	0,420964824
Faveira Vermelha	185	11,6	0,290306574	0,272353896	0,254974177	0,229978893	0,216649666	0,214031567	0,208843116
Pau Amarelo	188	10,58	0,324707915	0,281258615	0,252133261	0,243706007	0,254974177	0,246499176	0,240928753
Jarana	235	11,5	0,473772435	0,439466587	0,428317783	0,385154962	0,374722356	0,374722356	0,367846862
Angelim Vermelho	277	10,9	0,750009712	0,610589981	0,550429413	0,517452509	0,485494196	0,469897012	0,462193912
Pau Amarelo	251	11,22	0,521518918	0,501346028	0,469897012	0,458366236	0,439466587	0,406449894	0,428317783
Pau Amarelo	238	11,86	0,462193912	0,45075863	0,439466587	0,435734403	0,417312219	0,428317783	0,417312219
Pau Amarelo	268	10,23	0,584424909	0,571557232	0,517452509	0,505348775	0,469897012	0,4469787	0,439466587
Faveira Vermelha	279	11,8	0,632831885	0,619438996	0,542089694	0,489433281	0,485494196	0,458366236	0,45075863
Cupiúba	286	10,1	0,678509353	0,650911886	0,550429413	0,521518918	0,176669945	0,521518918	0,513402015
Pau Amarelo	290	11,3	0,725778371	0,669246536	0,623887377	0,593082938	0,563058358	0,533813637	0,525601242
Maçaranduba	286	11,72	0,683164635	0,650911886	0,571557232	0,521518918	0,493388281	0,501346028	0,493388281
Pau Amarelo	237	10	0,4469787	0,424633346	0,406449894	0,542089694	0,290306574	0,284258686	

Quadro 2 - Número de secções classificadas em ordem crescente.

Após o cálculo de todas as áreas transversais (g's), selecionar essa tabela e classificá-la em ordem crescente de NS (número de secções), a fim de que os dados sejam ordenados segundo as árvores com o mesmo número de secções (NS).

g14	g15	g16	NS	LN
			3	1,87
			4	1,32
			5	1,11
			5	1,60
			5	0,58
			5	1,50
			5	0,90

d) Criar tabela, contendo uma coluna para calcular o volume real (Figura 39). Na coluna criada calcular o volume real, segundo a metodologia de Smalian.

Figura 39 - Tabela com o volume real obtido a partir da metodologia de Smalian.

Esta fórmula é aplicada para todas as árvores com o mesmo número de secções (NS)

$$V_{real} = g_1 + g_{n-1} + 2 \times (g_2 + g_3 + \ldots + g_{n-2}) + {}^{(g_{n-1} + g_n)}/_{2} \times LN$$

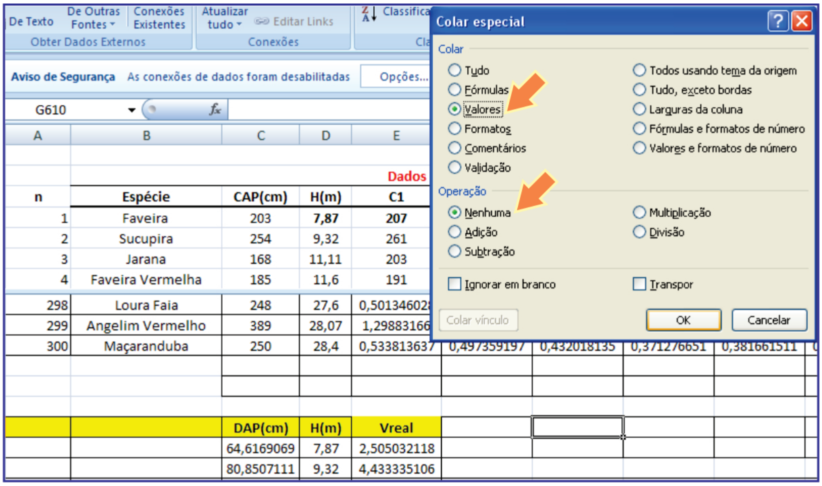
n	Espécie	CAP(cm)	H(m)	g1	g2	g3	g4	g5	LN	Vreal
1	Faveira	203	7,87	0,340981508	0,327930802	0,318309886	0,305704815	0,2994977	1,87	2,505032
2	Sucupira	254	9,32	0,542089694	0,513402015	0,462193912	0,458366236	0,4432146	1,32	4,433335
3	Jarana	168	11,11	0,327930802	0,224599456	0,203718327	0,167311634	0,1515473	1,11	2,445183
4	Faveira Vermelha	185	11,6	0,290306574	0,272353896	0,254974177	0,229978893	0,2166496	1,6	2,793169
5	Pau Amarelo	188	10,58	0,324707915	0,281258615	0,252133261	0,243706007	0,2549741	0,58	2,78518

Montar outra tabela abaixo (Quadro 3), com as variáveis apresentadas na Figura 39: n, espécie, DAP, H, Vreal (colar modo "especial" (Figura 40) os valores referentes a estas variáveis).
A coluna do CAP dará lugar ao campo referente ao DAP, o que deverá ser calculado pela fórmula = **CAP/PI().**

Quadro 3 - Exemplo de quadro resumo contendo Espécie, DAP, Altura e Volume.

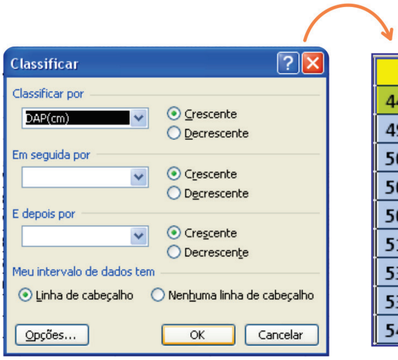
n	Espécie	DAP(cm)	H(m)	Vreal
1	Faveira	**=203/PI()**	7,87	2,505032118
2	Sucupira	**80,851**	9,32	4,433335106
3	Jarana	**53,476**	11,11	2,445183494
4	Faveira Vermelha	**58,887**	11,6	2,793169251
5	Pau Amarelo	**59,842**	10,58	2,78518031
6	Jarana	**74,803**	11,5	4,660745079

Figura 40 - Obtenção da tabela resumo contendo Espécie, DAP, Altura e Volume no Excel utilizando somente os valores por meio da ferramenta "colar especial".



Ao calcular todos os DAP's, selecionar a tabela com os dados de DAP, H e Vreal e classificar por ordem crescente de DAP (Figura 41).

Figura 41 - Classificação das informações em ordem crescente a partir do diâmetro a 1,30m do solo (DAP).



DAP(cm)	H(m)	Vreal
44,24507418	21,43	6,536766543
49,33803236	21,15	3,312187447
50,29296202	15,38	2,945491513
50,29296202	14,05	2,399102408
50,92958179	11,33	2,112235411
51,24789168	15,44	2,823188102
53,47606088	11,11	2,445183494
53,79437077	13,14	2,638065916
54,43099054	20,75	3,976444475

4.4 Procedimentos para análise estatística no Minitab (Figuras 42,43, 44 e 45)

Figura 42 - Exemplo de obtenção da estatística descritiva no Minitab.

Em seguida os valores da matriz de DAP, H e Volume deverão ser copiados e transferidos para o programa estatístico a ser utilizado (Para os cálculos deste manual foi utilizado o programa estatístico MINITAB 14). Deverão ser seguidos os seguintes passos: Stat > Basic Statistics > Display Descriptive Statistcs.

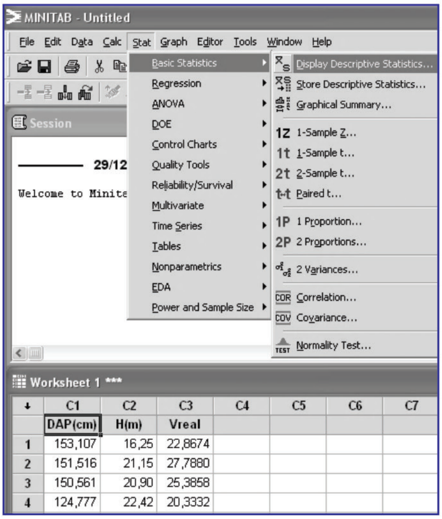


Figura 43 - Seleção dos gráficos desejados no submenu Graphs.

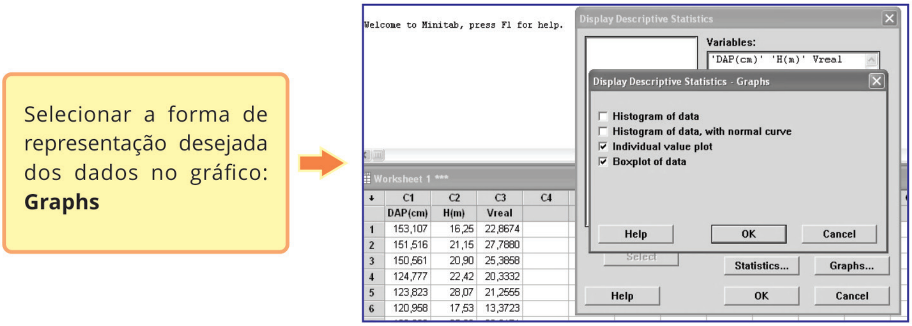


Figura 44 - Seleção das variáveis para o cálculo da estatística descritiva no submenu Display Descriptive Statistics.

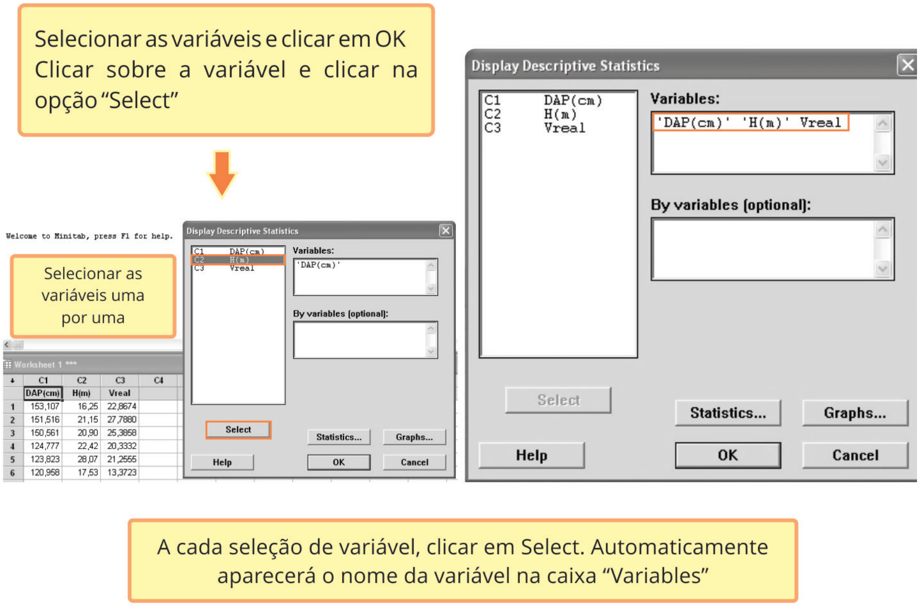
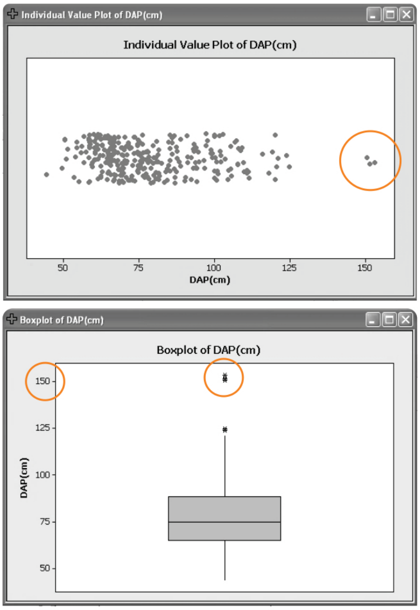


Figura 45 - Identificação de Outliers para o DAP no gráfico de pontos individuais e no boxplot.



A área circulada indica os outliers da variável DAP. Verifica-se que são três os indivíduos que apresentam diâmetro acima de 150cm, que para o caso em questão, são raros de ocorrer. Estes indivíduos não devem ser computados no ajuste da equação, pois superestimarão os dados.

ELIMINAÇÃO DOS DADOS

Na tabela de dados em que os valores de DAP's foram classificados em ordem crescente, verifica-se os indivíduos com os maiores diâmetros (por exemplo: DAP ≥ 150cm), refletido nos outliers apresentados no gráfico ao lado. Estes devem ser eliminados para melhorar o ajuste da equação, com a diminuição da variação dos dados.

DAP(cm)	H(m)	Vreal
150,560576	20,9	25,38583333
151,515506	21,15	27,78804961
153,107055	16,25	22,86743992

4.5 Análise descritiva

A análise descritiva realizada pelo programa estatístico (Figura 46), envolvendo as variáveis DAP (diâmetro a 1,30m do solo), H (altura) e Vreal (volume real) se apresentará da seguinte forma:

Figura 46 - Saída da estatística descritiva gerada pelo Minitab.

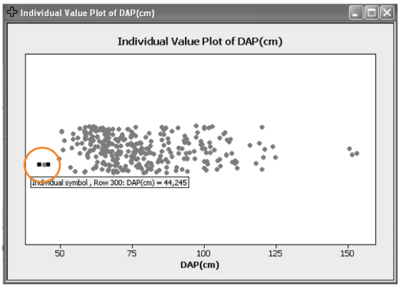
Descriptive Statistics: DAP(cm); H(m); Vreal

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
DAP (cm)	300	0	78,50	1,05	18,14	44,25	65,33	74,80	88,65
H(m)	300	0	17,577	0,216	3,747	7,870	14,908	17,620	20,148
Vreal	300	0	7,052	0,222	3,839	2,112	4,435	5,958	8,645

Variable	Maximum
DAP(cm)	153,11
H(m)	28,400
Vreal	27,788

Nos gráficos gerados (Figuras 45, 47, 48, 49 e Quadro 4) deverá ser efetuado o seguinte ajuste: Eliminação dos outliers[14]. A eliminação desses dados não afetará a representação real dos dados no campo, no entanto, deve ser realizada com cautela (a forma de eliminação será tratada mais adiante).

Figura 47 - Identificação de indivíduos com DAP em conformidade com a legislação florestal a partir do gráfico de pontos individuais.



Os diâmetros das árvores a serem exploradas, deverão estar acima de 50cm, em conformidade com a legislação florestal vigente. Portanto, indivíduos abaixo desse diâmetro não devem constar na lista de dados. Neste caso foi realizada a exploração indevida de indivíduos com o diâmetro abaixo do diâmetro mínimo de corte. Esses indivíduos não devem fazer parte da análise.

Exemplificando:

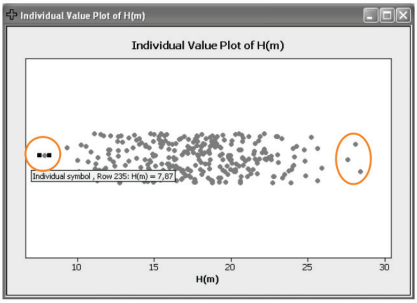
* O DAP= 44,25cm representa um outlier, devendo-se eliminar este indivíduo.

[14] Indivíduos que apresentam discrepâncias dos valores das variáveis superestimando ou subestimando o conjunto de dados.

Quadro 4 - Altura e volume real dos indivíduos classificados com os três menores DAP.

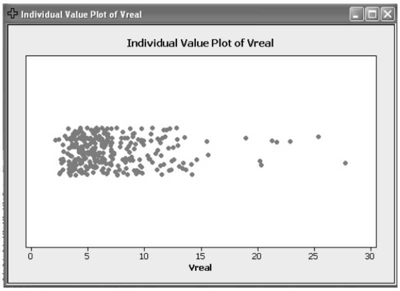
DAP(cm)	H(m)	Vreal
44,24507418	**21,43**	**6,536766543**
50,29296202	15,38	2,945491513
50,29296202	14,05	2,399102408

Figura 48 - Identificação de indivíduos com altura em conformidade com a legislação florestal a partir do gráfico de pontos individuais.



O mesmo vale para a variável **altura (H)**. Observa-se que há um indivíduo com altura abaixo de 10m, o qual não deverá fazer parte do povoamento (outlier). Os outros três da direita estão superestimando o povoamento. Estes são aqueles que apresentam maiores alturas/diâmetros (Verificar na tabela de dados).

Figura 49 - Identificação de indivíduos com volume real em conformidade com a Legislação Florestal a partir do gráfico de pontos individuais.



Das 300 árvores, foram eliminadas 4 devido os outliers, portanto, restaram 296 árvores. Das 296, foram selecionadas e separadas 46 árvores para a validação da equação de volume e os dados das 250 árvores restantes foram utilizadas para a matriz de variáveis classificadas por ordem crescente de DAP.

4.6 Banco de dados para validação

É necessário fazer a verificação da distribuição diamétrica dos dados (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição diamétrica dos dados.

Classe DAP	Intervalo entre classes	Total
I	0,5 – 0,7	121
II	0,7 – 0,9	106
III	0,9 – 1,1	57
IV	≥ 1,1	16
Total geral		**300**

Recomenda-se selecionar os indivíduos de forma proporcional nas classes diamétricas a fim de montar o banco de volume real para validação da equação de volume ajustada para a área (no exemplo acima: 19 indivíduos na Classe I; 16 na Classe II; 9 na Classe III; e 2 na Classe IV). Os dados selecionados para a validação da equação não poderão ser utilizados para o cálculo da matriz de variáveis para o ajuste das equações.

4.7 Critérios de seleção dos modelos

4.7.1 Teste F (para verificar se há ou não regressão)

Segundo Pimentel-Gomes (2009) o teste básico para a análise de variância é o teste z de Fisher, atualmente bastante substituído pelo seu equivalente F de Snedecor, que tem como objetivo comparar estimativas de variâncias, e é calculado pela razão entre os quadrados médios da regressão e do erro. Admitindo a hipótese de nulidade, isto é, supondo que os tratamentos sejam todos equivalentes, o quadrado médio (QM) para os tratamentos é uma estimativa da variância σ^2, da mesma forma que o quadrado médio referente ao resíduo.

$$F = \frac{QM_{Reg}}{QM_{erro}}$$

onde:
QM_{Reg} = quadrado médio da regressão;
QM_{erro} = quadrado médio do erro;
quando:
$p \leq 0,01$ ($\alpha = 0,01$) = 99% de probabilidade de haver regressão;
$0,05 \geq p > 0,01$ ($\alpha = 0,05$) = 95% de probabilidade de haver regressão.
$p > 0,05$ns : não existe regressão

Para decompor a variabilidade total, usa-se a análise de variância (ANOVA) (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise de Variância.

F variável	GL	SQ	QM	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$	p
Regressão	N	SQ_R	$\frac{SQ_R}{N}$	$\frac{QM_{Reg}}{QM_{erro}}$	---	---
Erro	$n - 1 - N$	SQ_E	$\frac{SQ_E}{(n - 1 - N)}$	---	---	---
Total	$n - 1$	SQ_T	---	---	---	---

Legenda: N= número de variáveis independentes envolvidas no modelo; GL= grau de liberdade; SQ= Soma dos quadrados; SQ_R= Soma de quadrados da regressão; SQ_E= Soma de quadrados dos erros; SQ_T= Soma total dos quadrados; QM_R= Quadrado médio da regressão; QM_E= Quadrado médio do erro; $F_{calculado}$= F calculado; $F_{tabelado}$= Valor visto na tabela F; p= Nível de significância.

$$\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

$$\downarrow \qquad \downarrow \qquad \downarrow$$

$$SQ_T = SQ_R = SQ_E$$

onde:

$\bar{y}$ = média de todas as observações

y_i = valor da observação individual "i"

$\hat{y}_i$ = valor previsto da observação "i"

Depois de encontrado o F calculado, o valor deverá ser comparado com $F_{tabelado}$[15]. O valor de F determinará se a equação avaliada explica ou não a correlação entre as variáveis analisadas, ou seja, quando $F_{calculado}$ for maior que o $F_{tabelado}$, há correlação entre as variáveis.

4.7.2 Coeficiente de determinação (R^2).

O coeficiente R^2 é uma medida quadrática que pode oscilar de -1 a 1 (ou -100% a 100%). Este coeficiente determina a correlação entre as variáveis da equação, isto é, o quanto a variável **y (dependente)** está sendo explicada pela variável **x (independente)**, explicando a correlação entre as variáveis da equação. Quanto maior o valor de R^2 (mais próximo de 1) melhor será o ajuste da equação, ou seja, o modelo da equação é mais preciso. Considera-se o $R^2 \geq 80\%$, para equações de volume de boa qualidade.

$$y = b_0 + b_1 X$$

$$r^2$$

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

$$R^2$$

onde:

r^2= coeficiente de determinação para regressão linear simples

R^2= coeficiente de determinação para regressão linear múltiplo

A correlação ou relação existente entre as variáveis dependente e independente, é explicada no modelo matemático utilizado.

$$R^2 = \frac{SQ_{Regressão\ \frac{b0}{b1}}}{SQ_{Total\ corrigido}}$$

$$R^2 = \frac{\left(\Sigma xy - \frac{(\Sigma x)(\Sigma y)}{n}\right)}{\Sigma y^2 - \frac{(\Sigma y)^2}{n}}$$

onde:

R^2= coeficiente de determinação

[15] $F_{tabelado}$ – é visto na tabela F entrando com os valores de grau de liberdade, da regressão e do erro, além do nível de significância α.

$SQ_{regressão\ b0/b1}$= soma dos quadrados dos coeficientes da regressão
$SQ_{total\ corrigido}$= soma dos quadrados total
x= variável independente
y= variável dependente (de x)

4.7.3 Erro padrão de estimativa ($S_{y.x}$)

O erro padrão de estimativa determina o quanto de erro apresenta a regressão. Contudo, há de se observar que o valor absoluto do erro no "S" é a melhor medida quando se quer comparar a precisão entre diferentes equações de regressão.

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{erro}}$$

onde:

$S_{y.x}$= erro padrão de estimativa
QM_{erro}= quadrado médio do erro

Obs.: A unidade do erro padrão é a unidade da variável y (variável independente).

Em seguida aplica-se o **Índice de Furnival (IF)** que visa corrigir as discrepâncias logarítmicas para efeito de comparação. Este índice permite a comparação de equações com variáveis dependentes, transformadas, ou não, em lugar da usual medida de precisão, expressa pelo erro padrão de estimativa da regressão ($S_{y.x}$)

No caso de uma equação em que a variável dependente é Log (V), o índice de Furnival tem a seguinte expressão:

$$IF = 2{,}2036.[V].S_{yx}$$

Erro padrão sem discrepâncias logarítmicas

onde:
IF= Índice de Furnival
[V]= Média geométrica dos volumes reais
S_{yx}= Erro padrão de estimativa da regressão

O [V] é calculado da seguinte maneira:

$$[V] = \sqrt[n]{(V1+V2+V3+...+ Vn)}$$

$$[V] = (V1 + V2 + V3 + ...+Vn)^{1/n}$$

$$log[V] = \frac{1}{n} (logV1 + logV2 + logV3+\cdots+logVn)$$

$$[V] = antilog \sum_{i=1}^{n} V_i = 10^{\Sigma ni=1}$$

$$IF\% = (IF/\bar{Y}).100$$

Onde:
IF%: Índice de Fúrnival em percentagem
IF: Índice de Fúrnival
$\bar{Y}$: Média aritmética da variável Y

O Índice de Furnival deve ser comparado com o erro padrão da estimativa da equação aritmética, enquanto o Índice de Furnival em percentagem da equação logarítmica deve ser comparado com o coeficiente de variação da equação aritmética.

4.7.4 Coeficiente de variação (CV%)

O conhecimento de precisão relativa ajuda na avaliação dos resultados de um experimento. Como regra geral, experimentos feitos em laboratório não devem ter CV muito maior do que 10%. Experimentos “de campo” têm CV em torno de 30%.

Pimentel-Gomes (2009) afirmou que os coeficientes de variação, obtidos em ensaios de campo, são considerados baixos, quando inferiores a 10%; médios, quando de 10 a 20%; altos, quando acima de 20 até 30%; muito altos, quando superiores a 30%. Logo, o coeficiente de variação facilita a interpretação da variação dos dados de regressão. Portanto, busca-se o menor coeficiente de variação, o qual pode ser expresso pela seguinte equação:

$$CV\% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} .100$$

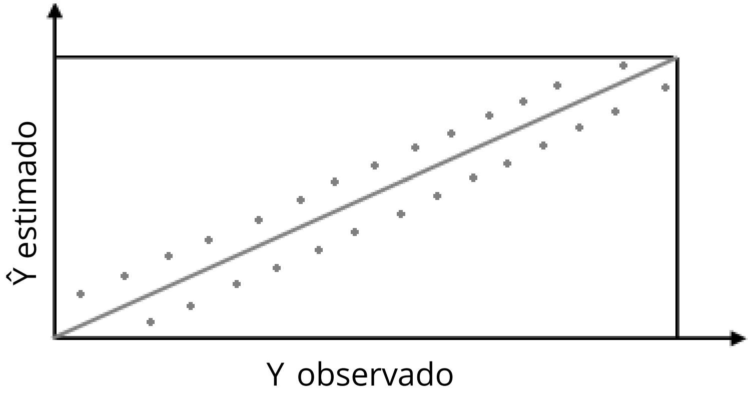
Onde:
CV%= Coeficiente de variação
S_{yx}= Erro padrão de estimativa
$\bar{Y}$ = Média aritmética dos volumes reais de estimativa

4.7.5 Análise gráfica de resíduos

Cabe lembrar que o i-ésimo resíduo é a diferença entre o valor observado y_i e o valor estimado $\hat{y}_i$ dado pela equação de regressão linear. Esta diferença pode ser verificada graficamente (Figura 50), representando os resíduos em função dos valores estimados da variável dependente $\hat{y}_i$ ou em função dos valores de uma das variáveis independentes x_i.

A representação gráfica demonstra a qualidade do ajuste, indicando se há ou não consistência e tendenciosidade nas estimativas. Para uma distribuição normal, todos os pontos do gráfico deverão posicionar-se mais ou menos sobre uma reta (Figura 50).

Figura 50 - Gráfico de correlação entre o valor estimado e o valor observado.



Outra forma de representação gráfica seria a indicação, em termos percentuais, da diferença entre o valor observado y_i e o valor estimado $\hat{y}_i$, em relação à variável independente (D_i%) (Figura 51).

$$D_i\% = \frac{(\hat{Y}_i - Y_i)}{Y_i} \cdot 100$$

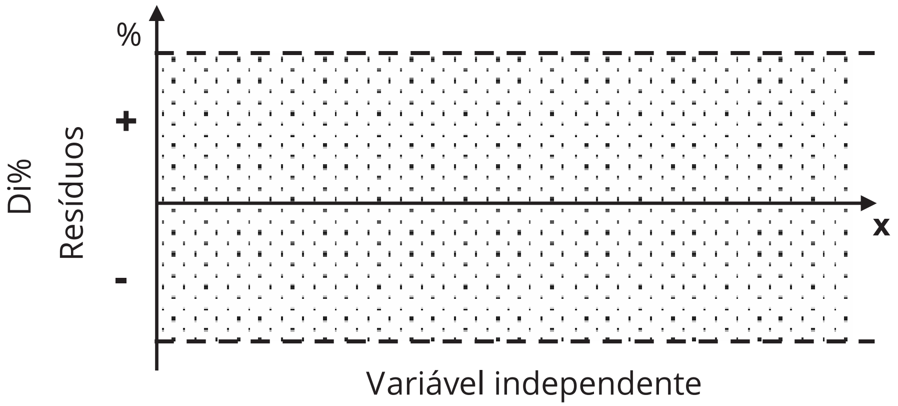
onde:

Di% = análise residual %

$\hat{y}_i$ = valor estimado

y_i = valor observado

Figura 51 - Gráfico de correlação da diferença do valor estimado e do valor observado e a variável independente.



Exemplificando:

Graficamente têm-se duas possibilidades, considerando os seguintes valores para: *X*, Y_i ($\hat{Y}_i = 2 + 1X$) e $D_i\%$ (Tabela 5; Figuras 52 e 53).

Tabela 5 - Exemplo de conjunto de dados para construção dos gráficos de correlação.

X	Y_i	$(\hat{Y}_i = 2 + 1X)$	$D_i\%$
0	3	2	-33,3
1	2	3	50
1	3	3	0
2	5	4	-20
3	4	5	25
3	4	5	25
4	7	6	-14,3
5	6	7	16,7
5	7	7	0
6	9	8	-11,1

Figura 52 - Gráfico de correlação entre o valor estimado e o valor observado para os dados da Tabela 5.

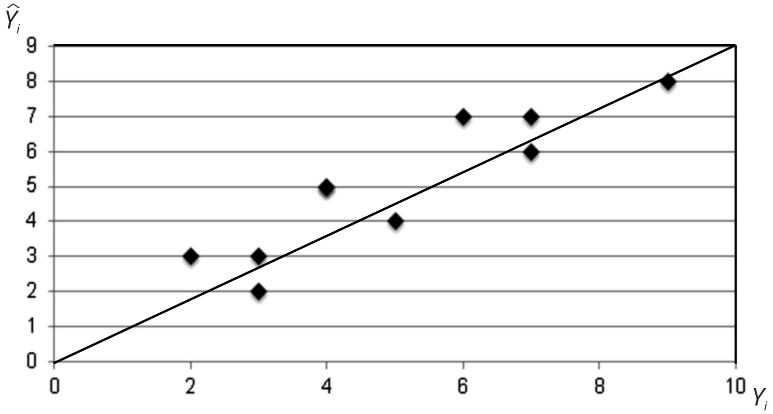
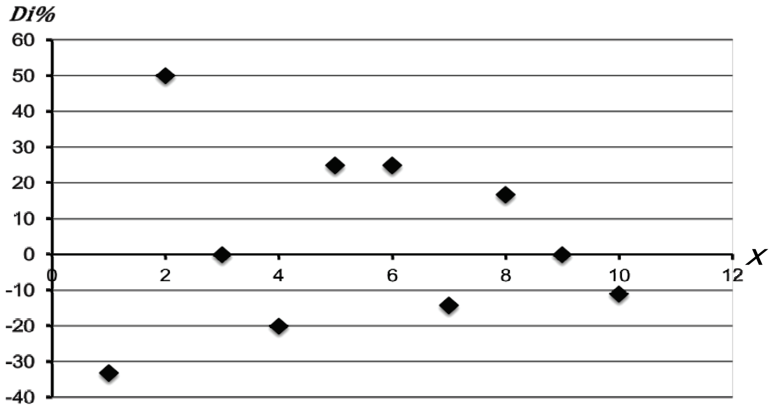


Figura 53 - Gráfico de correlação da diferença do valor estimado e do valor observado e a variável independente para os dados da Tabela 5.



4.7.6 Desvio médio percentual (DMP%)

Este valor é importante para a comparação com outros valores (outros modelos). Um valor de até 5% é bem aceitável para o povoamento como um todo. Representa, em média, o quanto a equação está superestimando ou subestimando a população total. Quanto menor o valor do DMP, menor a super ou subestimativa, sendo melhor a equação.

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i\%}{n}$$

Se o valor for positivo o DMP indicará a superestimativa em percentual; caso o valor seja negativo o DMP indicará em termos percentuais quanto de subestimativa apresentou o modelo.

onde:

Di% = análise residual %

n = número de observações

4.8 Unidades

Outro ponto a ser observado é a questão das unidades de saída das equações de volume.

Exemplificando:

S_{yx}= (unidade da variável dependente);

$V= b_0+b_1x \longrightarrow S_{yx}=1{,}875\mathbf{m^3};$

$logV= b_0+b_1logx \longrightarrow S_{yx}=0{,}932\ \mathbf{logm^3}.$

Nota-se que as unidades de medida são diferentes. Desta forma é necessário o cálculo do Índice de Furnival para a verificação da discrepância de erro gerado pela equação logarítmica, para enfim, poder comparar e saber qual equação é mais adequada.

$IF = 2{,}2036.\ [V].S_{yx}$

IF=1,973

onde:
IF: Índice de Furnival
[V]: Média geométrica do volume real
Syx: Erro padrão de estimativa

4.8.1 Exemplo prático

Deve-se, inicialmente, criar uma matriz de variáveis classificada por DAP (Figura 54).

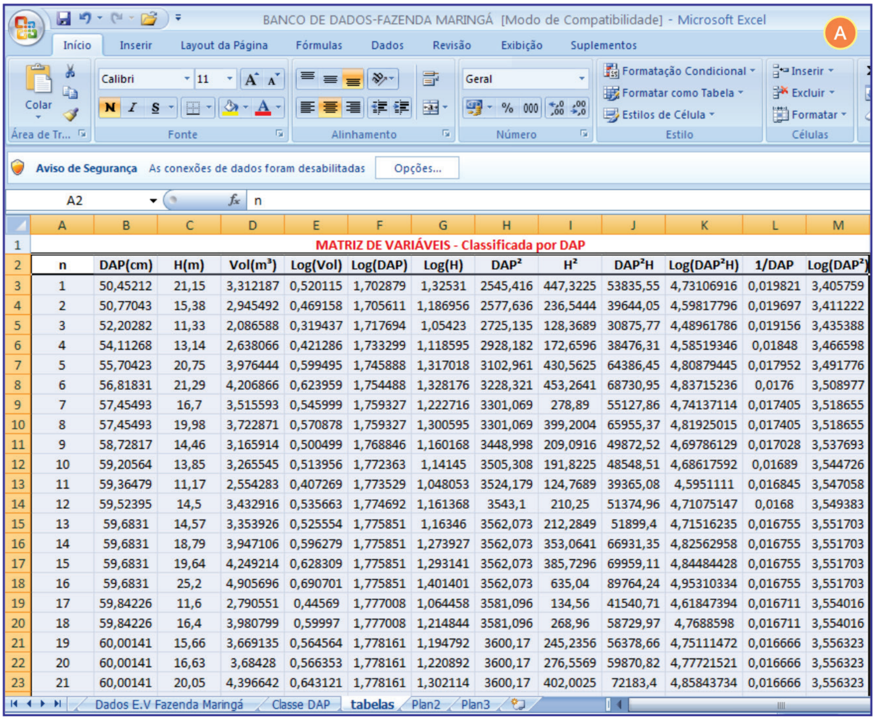
Figura 54 - Exemplo de matriz de variáveis classificada por DAP.

SOMA | =log(D3)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP												
2	n	DAP(cm)	H(m)	Vol(m³)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)
3	1	50,45212	21,15	3,312187	=log(D3)								
4	2	50,77043	15,38	2,945492									
5	3	52,20282	11,33	2,086588									
6	4	54,11268	13,14	2,638066									
7	5	55,70423	20,75	3,976444									

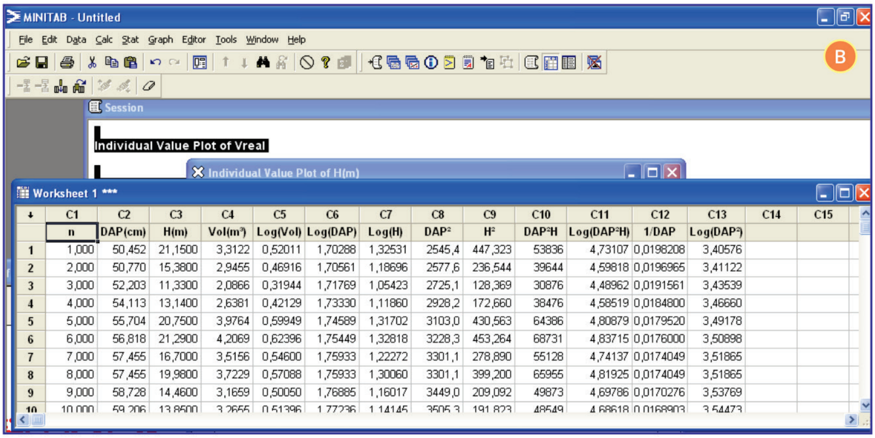
No exemplo em questão Log(Vol) = Log(D3). Após o cálculo das variáveis dispostas nas colunas, selecionar toda tabela, incluindo a linha com a identificação das variáveis "Em seguida colar a tabela no programa estatístico utilizado (Figura 55)."

Figura 55 - Exemplo de como selecionar a matriz de variáveis classificada por DAP no aplicativo Excel (A) e colar no aplicativo Minitab (B).



MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP

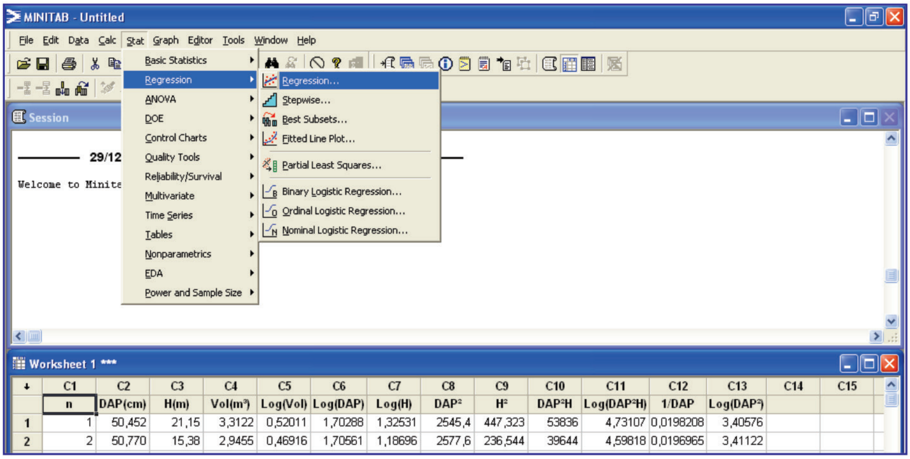
n	DAP(cm)	H(m)	Vol(m³)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)
1	50,45212	21,15	3,312187	0,520115	1,702879	1,32531	2545,416	447,3225	53835,55	4,73106916	0,019821	3,405759
2	50,77043	15,38	2,945492	0,469158	1,705611	1,186956	2577,636	236,5444	39644,05	4,59817796	0,019697	3,411222
3	52,20282	11,33	2,086588	0,319437	1,717694	1,05423	2725,135	128,3689	30875,77	4,48961786	0,019156	3,435388
4	54,11268	13,14	2,638066	0,421286	1,733299	1,118595	2928,182	172,6596	38476,31	4,58519346	0,01848	3,466598
5	55,70423	20,75	3,976444	0,599495	1,745888	1,317018	3102,961	430,5625	64386,45	4,80879445	0,017952	3,491776
6	56,81831	21,29	4,206866	0,623959	1,754488	1,328176	3228,321	453,2641	68730,95	4,83715236	0,0176	3,508977
7	57,45493	16,7	3,515593	0,545999	1,759327	1,222716	3301,069	278,89	55127,86	4,74137114	0,017405	3,518655
8	57,45493	19,98	3,722871	0,570878	1,759327	1,300595	3301,069	399,2004	65955,37	4,81925015	0,017405	3,518655
9	58,72817	14,46	3,165914	0,500499	1,768846	1,160168	3448,998	209,0916	49872,52	4,69786129	0,017028	3,537693
10	59,20564	13,85	3,265545	0,513956	1,772363	1,14145	3505,308	191,8225	48548,51	4,68617592	0,01689	3,544726
11	59,36479	11,17	2,554283	0,407269	1,773529	1,048053	3524,179	124,7689	39365,08	4,5951111	0,016845	3,547058
12	59,52395	14,5	3,432916	0,535663	1,774692	1,161368	3543,1	210,25	51374,96	4,71075147	0,0168	3,549383
13	59,6831	14,57	3,353926	0,525554	1,775851	1,16346	3562,073	212,2849	51899,4	4,71516235	0,016755	3,551703
14	59,6831	18,79	3,947106	0,596279	1,775851	1,273927	3562,073	353,0641	66931,35	4,82562958	0,016755	3,551703
15	59,6831	19,64	4,249214	0,628309	1,775851	1,293141	3562,073	385,7296	69959,11	4,84484428	0,016755	3,551703
16	59,6831	25,2	4,905696	0,690701	1,775851	1,401401	3562,073	635,04	89764,24	4,95310334	0,016755	3,551703
17	59,84226	11,6	2,790551	0,44569	1,777008	1,064458	3581,096	134,56	41540,71	4,61847394	0,016711	3,554016
18	59,84226	16,4	3,980799	0,59997	1,777008	1,214844	3581,096	268,96	58729,97	4,7688598	0,016711	3,554016
19	60,00141	15,66	3,669135	0,564564	1,778161	1,194792	3600,17	245,2356	56378,66	4,75111472	0,016666	3,556323
20	60,00141	16,63	3,68428	0,566353	1,778161	1,220892	3600,17	276,5569	59870,82	4,77721521	0,016666	3,556323
21	60,00141	20,05	4,396642	0,643121	1,778161	1,302114	3600,17	402,0025	72183,4	4,85843734	0,016666	3,556323



	C1 n	C2 DAP(cm)	C3 H(m)	C4 Vol(m³)	C5 Log(Vol)	C6 Log(DAP)	C7 Log(H)	C8 DAP²	C9 H²	C10 DAP²H	C11 Log(DAP²H)	C12 1/DAP	C13 Log(DAP²)
1	1,000	50,452	21,1500	3,3122	0,52011	1,70288	1,32531	2545,4	447,323	53836	4,73107	0,0198208	3,40576
2	2,000	50,770	15,3800	2,9455	0,46916	1,70561	1,18696	2577,6	236,544	39644	4,59818	0,0196965	3,41122
3	3,000	52,203	11,3300	2,0866	0,31944	1,71769	1,05423	2725,1	128,369	30876	4,48962	0,0191561	3,43539
4	4,000	54,113	13,1400	2,6381	0,42129	1,73330	1,11860	2928,2	172,660	38476	4,58519	0,0184800	3,46660
5	5,000	55,704	20,7500	3,9764	0,59949	1,74589	1,31702	3103,0	430,563	64386	4,80879	0,0179520	3,49178
6	6,000	56,818	21,2900	4,2069	0,62396	1,75449	1,32818	3228,3	453,264	68731	4,83715	0,0176000	3,50898
7	7,000	57,455	16,7000	3,5156	0,54600	1,75933	1,22272	3301,1	278,890	55128	4,74137	0,0174049	3,51865
8	8,000	57,455	19,9800	3,7229	0,57088	1,75933	1,30060	3301,1	399,200	65955	4,81925	0,0174049	3,51865
9	9,000	58,728	14,4600	3,1659	0,50050	1,76885	1,16017	3449,0	209,092	49873	4,69786	0,0170276	3,53769
10	10,000	59,206	13,8500	3,2655	0,51396	1,77236	1,14145	3505,3	191,823	48549	4,68618	0,0168903	3,54473

Em seguida, no Aplicativo Minitab, clicar em Stat -> Regression -> Regression (Figura 56).

Figura 56 - Comandos iniciais para o desenvolvimento de modelos de regressão no aplicativo Minitab.

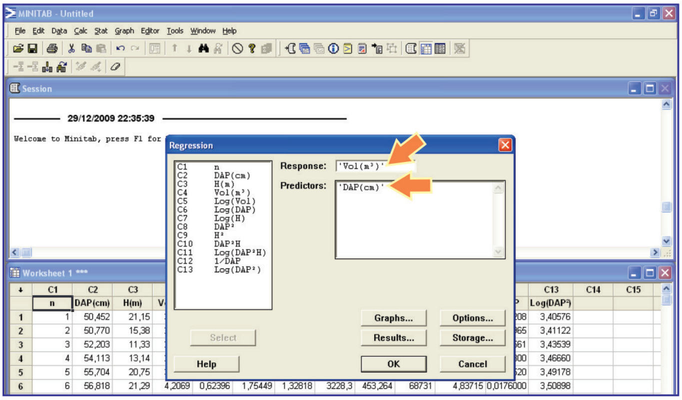


Testar em primeiro plano a equação de simples entrada. Verificar quais variáveis serão utilizadas para a análise:

1. Primeira equação testada $V = b_0 + b1DAP$

No programa estatístico colocar V (volume) no campo **response** (variável resposta) e DAP no campo **predictors** (variável independente) (Figura 57).

Figura 57 - Desenvolvimento do modelo de regressão para a variável resposta Vol (m³) e variável independente DAP (cm), no aplicativo Minitab.



Efetivada a análise de regressão o programa estatístico Minitab apresentará o seguinte relatório (Figura 58).

Figura 58 - Saída do Minitab para o modelo de regressão onde a variável resposta é Vol (m^3) e a variável independente é DAP (cm).

Regression Analysis: Vol(m³) versus DAP(cm)
The regression equation is
Vol(m³) = - 8,15 + 0,191 DAP(cm)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	**-8,1454**	0,4659	-17,48	0,000
DAP(cm)	**0,191457**	0,005836	32,81	0,000

S ou Syx= **1,47097** R-Sq = 81,3% R-Sq(adj) = **81,2% (R^2 corrigido)**

Analysis of Variance (F)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	2328,9	2328,9	1076,34	**0,000**
Residual Error	248	536,6	2,2		
Total	249	2865,6			

Unusual Observations

Obs	**DAP(cm)**	**Vol(m³)**	**Fit**	**SE Fit**	**Residual**	**St Resid**
167	82	4,4333	7,5474	0,0956	-3,1141	-2,12R
185	86	5,2619	8,2787	0,1030	-3,0169	-2,06R
197	91	12,3709	9,3452	0,1205	3,0257	2,06R
200	92	5,0508	9,4671	0,1229	-4,4163	-3,01R
202	92	6,5147	9,4976	0,1235	-2,9828	-2,03R
203	93	5,9673	9,6499	0,1266	-3,6827	-2,51R
204	93	6,4244	9,7414	0,1285	-3,3169	-2,26R
205	94	6,8468	9,8937	0,1318	-3,0469	-2,08R
241	111	21,7111	13,1541	0,2140	8,5569	5,88R
243	113	10,5424	13,5198	0,2241	-2,9774	-2,05R
244	117	15,5064	14,3425	0,2471	1,1639	0,80 X
245	120	14,6208	14,7387	0,2583	-0,1178	-0,08 X
246	121	18,9589	14,9824	0,2653	3,9764	2,75RX
247	121	20,2171	15,0738	0,2679	5,1432	3,56RX
248	123	13,3723	15,3481	0,2758	-1,9758	-1,37 X
249	126	20,3332	15,9270	0,2924	4,4062	3,06RX
250	126	21,2555	16,0185	0,2951	5,2371	3,63RX

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

Após a obtenção do relatório do Modelo de Regressão (Figura 58), deverão ser obtidas: as médias aritmética e geométrica, o coeficiente de variação, o volume estimado e o desvio médio percentual entre o volume real e o volume estimado (Figura 59).

Calcular a média aritmética e média geométrica do volume real para encontrar o CV% (Coeficiente de Variação) e IF (Índice de Furnival), respectivamente (Figura 59).

Figura 59 - Exemplo de como encontrar os valores da média aritmética e geométrica, no aplicativo Excel.

SOMA =MÉDIA.GEOMÉTRICA(d3:d252)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP												
2	n	DAP(cm)	H(m)	Vol(m³)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)
239	237	109,0211	18,79	12,11698	1,083394	2,037511	1,273927	11885,61	353,0641	223330,6	5,34894819	0,009173	4,075021
240	238	109,9761	19,45	14,11959	1,149822	2,041298	1,28892	12094,74	378,3025	235242,6	5,37151596	0,009093	4,082596
241	239	110,4535	19,53	14,18432	1,151809	2,04318	1,290702	12199,98	381,4209	238265,7	5,37706145	0,009054	4,086359
242	240	111,2493	17,9	12,18963	1,085991	2,046297	1,252853	12376,41	320,41	221537,7	5,34544765	0,008989	4,092595
243	241	111,2493	25,6	21,71108	1,336681	2,046297	1,40824	12376,41	655,36	316836	5,50083458	0,008989	4,092595
244	242	111,7268	16,96	10,45248	1,019219	2,048157	1,229426	12482,87	287,6416	211709,5	5,32574034	0,00895	4,096314
245	243	113,1592	12,62	10,54243	1,022941	2,05369	1,101059	12805	159,2644	161599,1	5,20843882	0,008837	4,107379
246	244	117,4563	18,3	15,50644	1,190512	2,069876	1,262451	13795,99	334,89	252466,7	5,40220408	0,008514	4,139753
247	245	119,5254	14,98	14,62081	1,164971	2,07746	1,175512	14286,31	224,4004	214009	5,33043195	0,008366	4,15492
248	246	120,7986	21,55	18,95887	1,277812	2,082062	1,333447	14592,3	464,4025	314464,1	5,49757109	0,008278	4,164124
249	247	121,2761	25,9	20,21705	1,305718	2,083775	1,4133	14707,88	670,81	380934,2	5,58084997	0,008246	4,16755
250	248	122,7085	17,53	13,37232	1,126207	2,088875	1,243782	15057,37	307,3009	263955,6	5,42153094	0,008149	4,177749
251	249	125,7324	22,42	20,33325	1,308207	2,099447	1,350636	15808,64	502,6564	354429,7	5,54953005	0,007953	4,198894
252	250	126,2099	28,07	21,25553	1,327472	2,101093	1,448242	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
253			médiaAritn	6,831576									
254			=MÉDIA.GEOMÉTRICA(d3:d252)										
255	BANCO DE DADOS F		MÉDIA.GEOMÉTRICA(núm1; [núm2]; ...)										
256	n	DAP(cm)	MÉDIA.GEOMÉTRICA										
257	1	50,92958	14,05	2,399102									

Retorna a média geométrica de uma matriz ou um intervalo de dados num

No exemplo em questão as células selecionadas indicam as médias do volume (Figuras 60, 61 e 62; Tabela 6).

Media aritmética = **MÉDIA** (D3:D252);

Média geométrica = **MÉDIA GEOMÉTRICA** (D3:D252);

Figura 60 - Exemplo de como encontrar o coeficiente de variação, no aplicativo Excel.

SOMA | =1,47097/D253*100

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP												
n	DAP(cm)	H(m)	Vol(m³)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)
237	109,0211	18,79	12,11698	1,083394	2,037511	1,273927	11885,61	353,0641	223330,6	5,34894819	0,009173	4,075021
238	109,9761	19,45	14,11959	1,149822	2,041298	1,28892	12094,74	378,3025	235242,6	5,37151596	0,009093	4,082596
239	110,4535	19,53	14,18432	1,151809	2,04318	1,290702	12199,98	381,4209	238265,7	5,37706145	0,009054	4,086359
240	111,2493	17,9	12,18963	1,085991	2,046297	1,252853	12376,41	320,41	221537,7	5,34544765	0,008989	4,092595
241	111,2493	25,6	21,71108	1,336681	2,046297	1,40824	12376,41	655,36	316836	5,50083458	0,008989	4,092595
242	111,7268	16,96	10,45248	1,019219	2,048157	1,229426	12482,87	287,6416	211709,5	5,32574034	0,00895	4,096314
243	113,1592	12,62	10,54243	1,022941	2,05369	1,101059	12805	159,2644	161599,1	5,20843882	0,008837	4,107379
244	117,4563	18,3	15,50644	1,190512	2,069876	1,262451	13795,99	334,89	252466,7	5,40220408	0,008514	4,139753
245	119,5254	14,98	14,62081	1,164971	2,07746	1,175512	14286,31	224,4004	214009	5,33043195	0,008366	4,15492
246	120,7986	21,55	18,95887	1,277812	2,082062	1,333447	14592,3	464,4025	314464,1	5,49757109	0,008278	4,164124
247	121,2761	25,9	20,21705	1,305718	2,083775	1,4133	14707,88	670,81	380934,2	5,58084997	0,008246	4,16755
248	122,7085	17,53	13,37232	1,126207	2,088875	1,243782	15057,37	307,3009	263955,6	5,42153094	0,008149	4,177749
249	125,7324	22,42	20,33325	1,308207	2,099447	1,350636	15808,64	502,6564	354429,7	5,54953005	0,007953	4,198894
250	126,2099	28,07	21,25553	1,327472	2,101093	1,448242	15928,93	787,9249	447125,1	5,65042905	0,007923	4,202187
		médiaAritr	6,831576									
		médiaGeom	6,176082									
			=1,47097/D253*100									

$CV\% = (S_{yx}/\bar{y}) \times 100$

onde:

$CV\%$ = coeficiente de variação

S ou S_{yx} = **1,47097** (gerada no programa estatístico)

$\bar{y}$ = média aritmética

CV%= 1,47097/6,831576*100 = 21,53193.

Tabela 6 - Médias aritmética e geométrica e o coeficiente de variação, para o exemplo em análise, a partir do Modelo V = b0 + b1DAP.

Estatística	Valor
Média Aritmética	6,831576
Média Geométrica	6,176082
Coeficiente de Variação	21,53193

Figura 61 - Exemplo de como encontrar o volume estimado, a partir do modelo de regressão V = b0 + b1DAP, no aplicativo Excel.

SOMA =-8,1454+(0,191457*B3)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP													Eq1	
n	DAP(cm)	H(m)	Vol(m^3)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP^2	H^2	DAP^2H	Log(DAP^2H)	1/DAP	Log(DAP^2)	Vest	DMP%
MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP													Eq1	
n	DAP(cm)	H(m)	Vol(m^3)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP^2	H^2	DAP^2H	Log(DAP^2H)	1/DAP	Log(DAP^2)	Vest	MP%
1	50,45212	21,15	3,312187	0,520115	1,702879	1,32531	2545,416	447,3225	53835,55	4,73106916	0,019821	3,405759	=-8,1454+(0,191457*	
2	50,77043	15,38	2,945492	0,469158	1,705611	1,186956	2577,636	236,5444	39644,05	4,59817796	0,019697	3,411222	B3)	
3	52,20282	11,33	2,086588	0,319437	1,717694	1,05423	2725,135	128,3689	30875,77	4,48961786	0,019156	3,435388	1,849196	-0,11377
4	54,11268	13,14	2,638066	0,421286	1,733299	1,118595	2928,182	172,6596	38476,31	4,58519346	0,01848	3,466598	2,214851	-0,16043
5	55,70423	20,75	3,976444	0,599495	1,745888	1,317018	3102,961	430,5625	64386,45	4,80879445	0,017952	3,491776	2,519565	-0,36638
6	56,81831	21,29	4,206866	0,623959	1,754488	1,328176	3228,321	453,2641	68730,95	4,83715236	0,0176	3,508977	2,732864	-0,35038

Figura 62 - Exemplo de como encontrar o desvio médio percentual entre o volume real e o volume estimado a partir do modelo de regressão V = b0 + b1DAP, no aplicativo Excel.

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP											Eq1		
H(m)	Vol(m^3)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP^2	H^2	DAP^2H	Log(DAP^2H)	1/DAP	Log(DAP^2)	Vest	DMP%	
MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP											Eq1		
H(m)	Vol(m^3)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP^2	H^2	DAP^2H	Log(DAP^2H)	1/DAP	Log(DAP^2)	Vest	DMP%	
21,15	3,312187	0,520115	1,702879	1,32531	2545,416	447,3225	53835,55	4,73106916	0,019821	3,405759	1,514011	=((N3-D3)/D3)*100	
15,38	2,945492	0,469158	1,705611	1,186956	2577,636	236,5444	39644,05	4,59817796	0,019697	3,411222	1,574954	-46,53	
11,33	2,086588	0,319437	1,717694	1,05423	2725,135	128,3689	30875,77	4,48961786	0,019156	3,435388	1,849196	-11,377	

MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP											Eq1	
H(m)	Vol(m^3)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP^2	H^2	DAP^2H	Log(DAP^2H)	1/DAP	Log(DAP^2)	Vest	DMP%
19,53	14,18432	1,151809	2,04318	1,290702	12199,98	381,4209	238265,7	5,37706145	0,009054	4,086359	13,0017	-8,33753
17,9	12,18963	1,085991	2,046297	1,252853	12376,41	320,41	221537,7	5,34544765	0,008989	4,092595	13,15406	7,911845
25,6	21,71108	1,336681	2,046297	1,40824	12376,41	655,36	316836	5,50083458	0,008989	4,092595	13,15406	-39,4132
16,96	10,45248	1,019219	2,048157	1,229426	12482,87	287,6416	211709,5	5,32574034	0,00895	4,096314	13,24547	26,72085
12,62	10,54243	1,022941	2,05369	1,101059	12805	159,2644	161599,1	5,20843882	0,008837	4,107379	13,51971	28,24098
18,3	15,50644	1,190512	2,069876	1,262451	13795,99	334,89	252466,7	5,40220408	0,008514	4,139753	14,34244	-7,50655
14,98	14,62081	1,164971	2,07746	1,175512	14286,31	224,4004	214009	5,33043195	0,008366	4,15492	14,73857	0,805396
21,55	18,95887	1,277812	2,082062	1,333447	14592,3	464,4025	314464,1	5,49757109	0,008278	4,164124	14,98234	-20,9745
25,9	20,21705	1,305718	2,083775	1,4133	14707,88	670,81	380934,2	5,58084997	0,008246	4,16755	15,07375	-25,4404
17,53	13,37232	1,126207	2,088875	1,243782	15057,37	307,3009	263955,6	5,42153094	0,008149	4,177749	15,34799	14,77437
22,42	20,33325	1,308207	2,099447	1,350636	15808,64	502,6564	354429,7	5,54953005	0,007953	4,198894	15,92695	-21,6704
28,07	21,25553	1,327472	2,101093	1,448242	15928,93	787,9249	447125,1	5,65042905	0,007923	4,202187	16,01836	-24,6391
nédiaAritn	6,831576											2,56478

O valor do DMP% positivo indica que a equação V = b0 + b1DAP está em média superestimando o volume a 2,56%

2. Segunda equação testada logV= b_0+$b_1$logDAP+b_2DAP

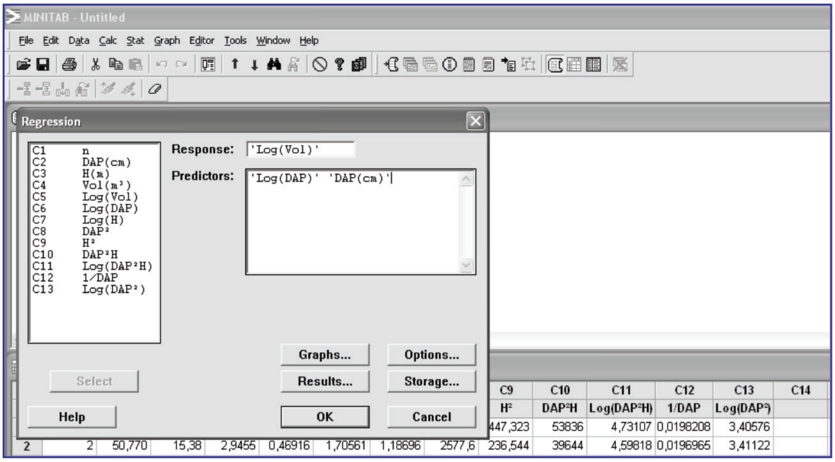
Os valores das médias (aritméticas e geométricas), assim como o CV% são os mesmos encontrados para a primeira equação testada (Tabela 7).

Tabela 7 - Médias aritmética e geométrica e coeficiente de variação, para o exemplo em análise, a partir do modelo logV = b0+b1logDAP+b2DAP.

Estatística	Valor
Média Aritmética	6,831576
Média Geométrica	6,176082
Coeficiente de Variação	21,53193

No programa estatístico, a variável Log(Vol) deverá ser colocada no campo **response** (variável resposta) e Log(DAP) e DAP(cm) no campo **predictors** (variável independente) (Figura 63).

Figura 63 - Desenvolvimento do modelo de regressão para a variável resposta Log (Vol) e variáveis independentes Log (DAP) e DAP (cm), no aplicativo Minitab.



Efetivada a análise de regressão, o programa estatístico Minitab apresentará o seguinte relatório (Figura 64)

Figura 64 - Saída do Minitab para o modelo de regressão onde a variável resposta é Log (Vol) e variáveis independentes Log (DAP) e DAP (cm).

Regression Analysis: Log(Vol) versus Log(DAP); DAP
The regression equation is

Log(Vol) = - 2,02 + 1,34 Log(DAP) + 0,00371 DAP

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	**-2,0203**	0,8043	-2,51	0,013
Log(DAP)	**1,3375**	0,5452	2,45	0,015
DAP(cm)	**0,003706**	0,002880	1,29	0,199

S = **0,0811173** R-Sq = 81,9% R-Sq(adj) = **81,7%**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	7,3483	3,6741	558,38	**0,000**
Residual Error	247	1,6253	0,0066		
Total	249	8,9735			

Source	DF	Seq SS
Log(DAP)	1	7,3374
DAP(cm)	1	0,0109

Unusual Observations

Obs	Log(DAP)	Log(Vol)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	1,70	0,52011	0,44428	0,02231	0,07583	0,97 X
2	1,71	0,46916	0,44912	0,02176	0,02004	0,26 X
3	1,72	0,31944	0,47059	0,01939	-0,15115	-1,92 X
4	1,73	0,42129	0,49854	0,01654	-0,07725	-0,97 X
11	1,77	0,40727	0,57181	0,01044	-0,16454	-2,05R
28	1,79	0,44353	0,60772	0,00831	-0,16419	-2,03R
51	1,81	0,39881	0,64856	0,00673	-0,24975	-3,09R
127	1,88	0,93948	0,76875	0,00653	0,17073	2,11R
157	1,90	0,99026	0,81517	0,00701	0,17509	2,17R
167	1,91	0,64673	0,84294	0,00722	-0,19620	-2,43R
170	1,91	1,01251	0,84465	0,00724	0,16785	2,08R
185	1,93	0,72114	0,88355	0,00743	-0,16241	-2,01R
200	1,96	0,70336	0,94713	0,00766	-0,24376	-3,02R
203	1,97	0,77578	0,95666	0,00772	-0,18089	-2,24R
241	2,05	1,33668	1,12890	0,01348	0,20778	2,60R
244	2,07	1,19051	1,18344	0,01778	0,00707	0,09 X
245	2,08	1,16497	1,20125	0,01943	-0,03628	-0,46 X
246	2,08	1,27781	1,21212	0,02049	0,06569	0,84 X
247	2,08	1,30572	1,21618	0,02090	0,08953	1,14 X

248	2,09	1,12621	1,22831	0,02215	-0,10210	-1,31 X
249	2,10	1,30821	1,25366	0,02491	0,05455	0,71 X
250	2,10	1,32747	1,25763	0,02536	0,06984	0,91 X

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

Observação: O **modelo de regressão** logV = b0+b1logDAP+b2DAP, para o volume, já calculado pelo antilog, é dado por:

=10^(-2,023+(1,3375*F3)+(0,003706*B3))

O volume estimado deverá ser calculado a partir do modelo de regressão utilizado (Figura 65).

Figura 65 - Exemplo de como encontrar o volume estimado, a partir do modelo de regressão logV = b0+b1logDAP+b2DAP, no aplicativo Excel.

SOMA =10^(-2,023+(1,3375*F3)+(0,003706*B3)

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
			MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP								Eq1		Eq2	
H(m)	Vol(m³)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)	Vest	DMP%	Vest	DMP%
			MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP								Eq1		Eq2	
H(m)	Vol(m³)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)	Vest	DMP%	Vest	DMP%
21,15	3,312187	0,520115	1,702879	1,32531	2545,416	447,3225	53835,55	4,73106916	0,019821	3,405759	1,514011	-54,2897	=10^(-2,023+(1,3375*	
15,38	2,945492	0,469158	1,705611	1,186956	2577,636	236,5444	39644,05	4,59817796	0,019697	3,411222	1,574954	-46,53	F3)+(0,003706*B3)	
11,33	2,086588	0,319437	1,717694	1,05423	2725,135	128,3689	30875,77	4,48961786	0,019156	3,435388	1,849196	-11,377		

Calcular o desvio médio percentual (DMP%) entre o volume real e o volume estimado pela equação de volume ajustada para a área (Figura 66).

Figura 66 - Exemplo de como encontrar o desvio médio percentual entre o volume real e o volume estimado a partir do modelo de regressão logV = b0+b1logDAP+b2DAP, no aplicativo Excel.

MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP											Eq1		Eq6	
H(m)	Vol(m³)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)	Vest	DMP%	Vest	DMP%
MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP											Eq1		Eq6	
H(m)	Vol(m³)	Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)	Vest	DMP%	Vest	DMP%
21,15	3,312187	0,520115	1,702879	1,32531	2545,416	447,3225	53835,55	4,73106916	0,019821	3,405759	1,514011	-54,2897	2,764246	=((P3-D3)/
15,38	2,945492	0,469158	1,705611	1,186956	2577,636	236,5444	39644,05	4,59817796	0,019697	3,411222	1,574954	-46,53	2,795179	D3)*100
11,33	2,086588	0,319437	1,717694	1,05423	2725,135	128,3689	30875,77	4,48961786	0,019156	3,435388	1,849196	-11,377	2,936834	
13,14	2,638066	0,421286	1,733299	1,118595	2928,182	172,6596	38476,31	4,58519346	0,01848	3,466598	2,214851	-16,0426	3,132053	

Q253 =MÉDIA(Q3:Q252)

E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
MATRIZ DE VARIÁVEIS - Classificada por DAP									Eq1		Eq6	
Log(Vol)	Log(DAP)	Log(H)	DAP²	H²	DAP²H	Log(DAP²H)	1/DAP	Log(DAP²)	Vest	DMP%	Vest	DMP%
1,10852	2,026597	1,272306	11302,99	350,4384	211591,9	5,32549903	0,009406	4,053193	12,20945	-4,90093	12,06641	-6,01502
1,135291	2,032409	1,33646	11609,61	470,89	251928,5	5,40127733	0,009281	4,064818	12,48369	-8,57783	12,43542	-8,93131
1,131369	2,03369	1,332438	11678,3	462,25	251083,6	5,39981827	0,009254	4,06738	12,54463	-7,29795	12,51854	-7,49077
1,068649	2,036876	1,203577	11850,93	255,3604	189377,9	5,27732924	0,009186	4,073752	12,69699	8,405619	12,72813	8,671469
1,083394	2,037511	1,273927	11885,61	353,0641	223330,6	5,34894819	0,009173	4,075021	12,72746	5,038252	12,77035	5,392244
1,149822	2,041298	1,28892	12094,74	378,3025	235242,6	5,37151596	0,009093	4,082596	12,91029	-8,56471	13,0259	-7,74593
1,151809	2,04318	1,290702	12199,98	381,4209	238265,7	5,37706145	0,009054	4,086359	13,0017	-8,33753	13,15508	-7,2562
1,085991	2,046297	1,252853	12376,41	320,41	221537,7	5,34544765	0,008989	4,092595	13,15406	7,911845	13,3725	9,703866
1,336681	2,046297	1,40824	12376,41	655,36	316836	5,50083458	0,008989	4,092595	13,15406	-39,4132	13,3725	-38,407
1,019219	2,048157	1,229426	12482,87	287,6416	211709,5	5,32574034	0,00895	4,096314	13,24547	26,72085	13,50423	29,19639
1,022941	2,05369	1,101059	12805	159,2644	161599,1	5,20843882	0,008837	4,107379	13,51971	28,24098	13,90522	31,8977
1,190512	2,069876	1,262451	13795,99	334,89	252466,7	5,40220408	0,008514	4,139753	14,34244	-7,50655	15,16188	-2,22204
1,164971	2,07746	1,175512	14286,31	224,4004	214009	5,33043195	0,008366	4,15492	14,73857	0,805396	15,79661	8,041933
1,277812	2,082062	1,333447	14592,3	464,4025	314464,1	5,49757109	0,008278	4,164124	14,98234	-20,9745	16,19711	-14,5671
1,305718	2,083775	1,4133	14707,88	670,81	380934,2	5,58084997	0,008246	4,16755	15,07375	-25,4404	16,34927	-19,1313
1,126207	2,088875	1,243782	15057,37	307,3009	263955,6	5,42153094	0,008149	4,177749	15,34799	14,77437	16,8123	25,72468
1,308207	2,099447	1,350636	15808,64	502,6564	354429,7	5,54953005	0,007953	4,198894	15,92695	-21,6704	[illegible]	-12,3467
1,327472	2,101093	1,448242	15928,93	787,9249	447125,1	5,65042905	0,007923	4,202187	16,01836	-24,6391	[illegible]	-15,3798
										2,56478		1,132464

O valor de DMP% positivo, indica que a equação logV = b0+b1logDAP+b2DAP está em média superestimando o volume a 1,1325% (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo dos resultados de precisão das equações (1) V = b0 + b1DAP e (2) logV = b0+b1logDAP+b2DAP.

N	Equação		Coef	Test T (p)	F (p)	R2 (corrigido)	Syx	CV%	DMP%	IF(só para equação logaritimica)
1	$V= b_0+b_1DAP$	b0	-8,1454	0,000	0,000	81,2	1,47097	21,53	2,56	não é o caso
		b1	0,191457	0,000						
2	$logV= b_0+b_1logDAP+b_2DAP$	b0	**-2,0203**	**0,013**	**0,000**	**81,70**	**0,08112**	21,53	1,1325	**1,103975251**
		b1	1,3375	0,015						
		b2	0,003706	0,199(NS)						

4.9 Teste do qui-quadrado para validação do(s) modelo(s) selecionado(s)

Após o ajuste dos modelos de regressão pode-se verificar a partir das medidas de precisão (Teste F, R², Syx, CV%, DMP, Índice de Furnival) quais equações estimam a variável dependente (volume) com maior precisão. Todavia, Silva (2007) ressaltou que após o ajuste de uma equação de regressão, deve-se proceder ao controle de validação e da qualidade das estimativas do modelo selecionado, para que se possa ter maior confiança nas suas predições.

O processo de validação da equação de regressão consiste na comparação dos volumes reais obtidos a partir da cubagem rigorosa (*Smalian*, *Newton* ou *Huber*) com os volumes estimados pelo modelo selecionado. Tal procedimento é realizado a partir do teste *qui-quadrado* (x^2), por meio da seguinte equação:

$$x_{cal}^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i}$$

onde:

y_i = volume real das árvores

$\hat{y}_i$ = volume das árvores estimado pela equação de regressão selecionada

n = número de observações

É importante ressaltar que no procedimento de validação da equação selecionada os dados utilizados devem ser independentes da amostra usada nos ajustes dos modelos. Exemplificando, em uma amostra de 296 árvores cubadas é necessário separar uma parte para o ajuste dos modelos de regressão e outra parte para a validação. Então, poder-se-ia, por exemplo, utilizar 250 árvores para o ajuste dos modelos e 46 árvores para posterior validação da equação selecionada. De modo geral, existem duas situações que o Engenheiro Florestal pode se deparar:

1ª situação: Quando se deseja comparar os volumes reais com os volumes estimados por uma equação selecionada.

Para exemplificar o processo de validação de um modelo de regressão suponhamos o modelo $\log V = -2{,}0203 + 1{,}3375 \log DAP + 0{,}003706 DAP$ selecionado por apresentar as melhores medidas de precisão. Sabendo da necessidade de validar a equação selecionada foi separado, um banco de dados independente com 46 árvores apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Banco de dados utilizado para a validação da equação selecionada (logV = -2,0203 + 1,3375logDAP + 0,003706DAP).

BANCO DE DADOS PARA VALIDAÇÃO

N	DAP(cm)	H(m)	Yreal (m^3)	logDAP (cm)	Yest (m^3)	(Yreal - Yest)²	(Yreal - Yest)²/Yest
1	50,93	14,05	2,3991	1,7070	2,8283	0,1842	0,0651
2	51,73	15,44	2,8232	1,7137	2,9076	0,0071	0,0025
3	55,86	20,75	3,9756	1,7471	3,3378	0,4068	0,1219
4	56,82	19,34	3,8451	1,7545	3,4429	0,1618	0,0470
5	58,89	15,94	3,3061	1,7700	3,6760	0,1368	0,0372
6	59,05	11,11	2,7220	1,7712	3,6944	0,9457	0,2560
7	60,8	18,78	3,7861	1,7839	3,8994	0,0128	0,0033
8	61,12	13,84	2,7557	1,7862	3,9376	1,3968	0,3547
9	62,87	18,66	4,5847	1,7984	4,1506	0,1884	0,0454
10	63,03	18,94	4,4403	1,7995	4,1705	0,0728	0,0175
11	63,82	17,84	3,7572	1,8050	4,2692	0,2621	0,0614
12	64,14	14,95	3,4332	1,8071	4,3096	0,7680	0,1782
13	65,89	24,76	6,4696	1,8188	4,5348	3,7435	0,8255
14	66,05	11,76	3,5715	1,8199	4,5558	0,9688	0,2126
15	67,96	23,95	6,1924	1,8323	4,8106	1,9094	0,3969
16	68,12	22,15	6,5873	1,8333	4,8323	3,0800	0,6374
17	69,87	22,18	5,8369	1,8443	5,0743	0,5815	0,1146
18	70,03	21,86	5,8269	1,8453	5,0968	0,5330	0,1046
19	71,94	13,46	4,5865	1,8570	5,3704	0,6146	0,1144
20	72,89	16,82	5,6604	1,8627	5,5100	0,0226	0,0041
21	74,8	22,8	8,0322	1,8739	5,7977	4,9934	0,8613
22	75,28	15,06	4,9015	1,8767	5,8715	0,9409	0,1602
23	76,71	20,51	6,3911	1,8849	6,0950	0,0877	0,0144
24	77,19	16,85	6,1947	1,8876	6,1713	0,0005	0,0001
25	78,78	23	8,8317	1,8964	6,4286	5,7751	0,8983
26	79,1	16,4	6,4532	1,8982	6,4812	0,0008	0,0001
27	82,92	12,35	5,5594	1,9187	7,1320	2,4731	0,3468
28	86,1	12,77	6,2205	1,9350	7,7064	2,2079	0,2865
29	88,01	14,65	7,5290	1,9445	8,0663	0,2887	0,0358
30	89,29	18,58	9,1014	1,9508	8,3140	0,6200	0,0746
31	91,99	20,66	10,3891	1,9637	8,8536	2,3578	0,2663

BANCO DE DADOS PARA VALIDAÇÃO

N	DAP(cm)	H(m)	Yreal (m³)	logDAP (cm)	Yest (m³)	(Yreal - Yest)²	(Yreal - Yest)²/Yest
32	94,54	17,35	9,9278	1,9756	9,3854	0,2942	0,0314
33	94,7	12,94	7,6417	1,9763	9,4195	3,1605	0,3355
34	95,33	16,44	8,7632	1,9792	9,5546	0,6264	0,0656
35	97,4	14,9	8,9463	1,9886	10,0083	1,1279	0,1127
36	100,43	12,84	7,9170	2,0019	10,7001	7,7456	0,7239
37	101,7	14,19	9,0764	2,0073	11,0000	3,7003	0,3364
38	101,7	18,9	9,7217	2,0073	11,0000	1,6341	0,1486
39	101,7	19,11	11,1513	2,0073	11,0000	0,0229	0,0021
40	104,25	17,66	12,5634	2,0181	11,6206	0,8889	0,0765
41	106,32	25,61	11,4078	2,0266	12,1428	0,5402	0,0445
42	109,82	19,23	12,5321	2,0407	13,0648	0,2839	0,0217
43	110,61	17,78	11,1861	2,0438	13,2799	4,3840	0,3301
44	111,41	22,6	12,9159	2,0469	13,5004	0,3416	0,0253
45	120,32	20,6	13,0681	2,0803	16,1457	9,4720	0,5867
46	121,44	17,55	15,6104	2,0844	16,5040	0,7986	0,0484
						Σ	**9,433921908**

Legenda: DAP – Diâmetro a 1,30m do solo; H – altura; Yreal – Volume real; Yest – volume estimado; log – logaritmo na base 10.

Ao deixar 46 árvores para o processo de validação tem-se para o teste “qui-quadrado” um valor tabelado de (x^2 = 61,656), com 45 graus de liberdade e α = 0,05. O valor do x^2 calculado é de aproximadamente 9,434. Dessa forma, sendo o valor de $x^2_{calculado} < x^2_{tabelado}$ infere-se que os valores dos volumes reais das 46 árvores não diferem estatisticamente dos respectivos valores dos volumes estimados pela equação selecionada. Afirma-se, então, que a equação selecionada pode ser usada para as estimativas dos volumes das árvores em pé da área estudada, sem perda na qualidade das estimativas.

2ª situação: Quando se deseja comparar equações de simples e dupla entrada por meio do teste qui-quadrado.

Suponha-se a seguinte situação: foram ajustados 12 modelos de regressão (seis modelos de simples entrada e seis de dupla entrada).

Foi realizada uma seleção do melhor modelo de "simples entrada" e do melhor modelo de "dupla entrada", considerando os parâmetros estatísticos (Teste F, R^2, Syx, CV%, DMP, Índice de Furnival). Desta forma obtêm-se os melhores modelos de "simples entrada" (V = -8,1454 + 0,191457DAP) e de "dupla entrada" (logV = -2,0203 + 1,3375logDAP + 0,003706DAP).

Isso significaria afirmar que tanto o modelo de "simples entrada" quanto o modelo de "dupla entrada" são precisos na estimativa da variável dependente (volume). Neste contexto, seria mais coerente e prático utilizar o modelo de "simples entrada" para as estimativas dos volumes das árvores em pé, devido à maior facilidade de obtenção da variável DAP em campo. Entretanto, inúmeros estudos reportam que as "tabelas de dupla entrada" são mais precisas que as de "simples entrada", como exemplo, cita-se o estudo realizado por Silva; Carvalho (1984). Mas, o que fazer? A resposta é simples: assim, como na 1ª situação deve-se proceder à realização do teste x^2. Todavia, neste caso os valores de y_i serão os volumes estimados pela equação de "dupla entrada" e os valores de $\hat{y}_i$ serão os volumes estimados pela equação de "simples entrada". Para esta situação o teste x^2 possibilitará verificar quais modelos (simples ou dupla entrada) estimam com maior precisão ou, ainda, se ambos estimam o volume com precisões similares.

Realizando o teste "Qui-quadrado" pode-se obter dois resultados: i) significativo ($x^2_{calculado} > x^2_{tabelado}$), o que significa afirmar que o modelo de "dupla entrada" estima a variável volume com maior precisão do que o modelo de "simples entrada", e ii) não-significativo ($x^2_{calculado} < x^2_{tabelado}$), comprovando que ambos os modelos (simples e dupla entrada) estimam o volume com a mesma precisão. Os resultados do teste x^2 (exemplo utilizado ao longo deste item) são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Banco de dados utilizado para a comparação das equações de "simples entrada" (V = -8,1454 + 0,191457DAP) e "dupla entrada" (logV = -2,0203 + 1,3375logDAP + 0,003706DAP) por meio do teste qui-quadrado.

BANCO DE DADOS PARA VALIDAÇÃO

n	DAP(cm)	H(m)	Yreal (m²)	logDAP (cm)	YDE (m³)	YSE (m³)	(YDE - YSE)²	(YDE- YSE)²/ YSE
1	50,93	14,05	2,3991	1,7070	2,8283	1,6055	1,4952	0,9313
2	51,73	15,44	2,8232	1,7137	2,9076	1,7587	1,3202	0,7507
3	55,86	20,75	3,9756	1,7471	3,3378	2,5494	0,6216	0,2438
4	56,82	19,34	3,8451	1,7545	3,4429	2,7332	0,5036	0,1843
5	58,89	15,94	3,3061	1,7700	3,6760	3,1295	0,2987	0,0954
6	59,05	11,11	2,7220	1,7712	3,6944	3,1601	0,2855	0,0903
7	60,8	18,78	3,7861	1,7839	3,8994	3,4952	0,1634	0,0467
8	61,12	13,84	2,7557	1,7862	3,9376	3,5565	0,1453	0,0408
9	62,87	18,66	4,5847	1,7984	4,1506	3,8915	0,0671	0,0173
10	63,03	18,94	4,4403	1,7995	4,1705	3,9221	0,0617	0,0157
11	63,82	17,84	3,7572	1,8050	4,2692	4,0734	0,0383	0,0094
12	64,14	14,95	3,4332	1,8071	4,3096	4,1347	0,0306	0,0074
13	65,89	24,76	6,4696	1,8188	4,5348	4,4697	0,0042	0,0009
14	66,05	11,76	3,5715	1,8199	4,5558	4,5003	0,0031	0,0007
15	67,96	23,95	6,1924	1,8323	4,8106	4,8660	0,0031	0,0006
16	68,12	22,15	6,5873	1,8333	4,8323	4,8967	0,0041	0,0008
17	69,87	22,18	5,8369	1,8443	5,0743	5,2317	0,0248	0,0047
18	70,03	21,86	5,8269	1,8453	5,0968	5,2623	0,0274	0,0052
19	71,94	13,46	4,5865	1,8570	5,3704	5,6280	0,0664	0,0118
20	72,89	16,82	5,6604	1,8627	5,5100	5,8099	0,0900	0,0155
21	74,8	22,8	8,0322	1,8739	5,7977	6,1756	0,1428	0,0231
22	75,28	15,06	4,9015	1,8767	5,8715	6,2675	0,1568	0,0250
23	76,71	20,51	6,3911	1,8849	6,0950	6,5413	0,1991	0,0304
24	77,19	16,85	6,1947	1,8876	6,1713	6,6332	0,2133	0,0322
25	78,78	23	8,8317	1,8964	6,4286	6,9376	0,2591	0,0373
26	79,1	16,4	6,4532	1,8982	6,4812	6,9988	0,2680	0,0383
27	82,92	12,35	5,5594	1,9187	7,1320	7,7302	0,3579	0,0463
28	86,1	12,77	6,2205	1,9350	7,7064	8,3390	0,4002	0,0480
29	88,01	14,65	7,5290	1,9445	8,0663	8,7047	0,4075	0,0468

BANCO DE DADOS PARA VALIDAÇÃO Cont.

n	DAP(cm)	H(m)	Yreal (m^2)	logDAP (cm)	YDE (m^3)	YSE (m^3)	$(YDE - YSE)^2$	$(YDE- YSE)^2$/ YSE
30	89,29	18,58	9,1014	1,9508	8,3140	8,9498	0,4043	0,0452
31	91,99	20,66	10,3891	1,9637	8,8536	9,4667	0,3760	0,0397
32	94,54	17,35	9,9278	1,9756	9,3854	9,9549	0,3244	0,0326
33	94,7	12,94	7,6417	1,9763	9,4195	9,9856	0,3205	0,0321
34	95,33	16,44	8,7632	1,9792	9,5546	10,1062	0,3043	0,0301
35	97,4	14,9	8,9463	1,9886	10,0083	10,5025	0,2442	0,0233
36	100,43	12,84	7,9170	2,0019	10,7001	11,0826	0,1464	0,0132
37	101,7	14,19	9,0764	2,0073	11,0000	11,3258	0,1061	0,0094
38	101,7	18,9	9,7217	2,0073	11,0000	11,3258	0,1061	0,0094
39	101,7	19,11	11,1513	2,0073	11,0000	11,3258	0,1061	0,0094
40	104,25	17,66	12,5634	2,0181	11,6206	11,8140	0,0374	0,0032
41	106,32	25,61	11,4078	2,0266	12,1428	12,2103	0,0046	0,0004
42	109,82	19,23	12,5321	2,0407	13,0648	12,8804	0,0340	0,0026
43	110,61	17,78	11,1861	2,0438	13,2799	13,0317	0,0616	0,0047
44	111,41	22,6	12,9159	2,0469	13,5004	13,1848	0,0996	0,0076
45	120,32	20,6	13,0681	2,0803	16,1457	14,8907	1,5751	0,1058
46	121,44	17,55	15,6104	2,0844	16,5040	15,1051	1,9570	0,1296
							χ^2	**3,2991**

Legenda: DAP – Diâmetro a 1,30m do solo; H – altura; Yreal – Volume real; Yest – volume estimado; log – logaritmo na base 10; DE – Equação de dupla entrada; SE - Equação de simples entrada.

Com base no exemplo da Tabela 9, tem-se para o teste qui-quadrado um valor tabelado de x^2 = 61,656, com 45 graus de liberdade e α = 0,05. O valor do x^2 calculado é de 3,299. Desta forma, sendo o valor de $x^2_{calculado} < x^2_{tabelado}$ infere-se que os valores dos volumes estimados pela equação de dupla entrada (logV = -2,0203 + 1,3375logDAP + 0,003706DAP) não diferem estatisticamente dos valores dos volumes estimados pela equação de simples entrada (V = -8,1454 + 0,191457DAP). Assim, pode-se afirmar que tanto a equação de simples entrada quanto a equação de dupla entrada estimam a variável volume com precisões similares. A realização do teste x^2 respalda estatisticamente a opção por um ou outro modelo, excluindo a subjetividade da escolha.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o objetivo de contribuir com o processo de licenciamento ambiental, mais especificamente o licenciamento de Projetos de Manejo Florestal Sustentável no Estado do Pará, buscando a padronização das análises técnicas, bem como a melhoria na qualidade dos inventários florestais e equações de volumes apresentados à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Para os estudantes de Engenharia Florestal e áreas afins servirá como base para o aprendizado sobre o ajuste de equações de volume.

Este manual é de cunho operacional cabendo aos profissionais e estudantes da área a busca pelas informações referentes à ecologia e dinâmica florestal, a fim de se interpretar os dados gerados ao longo das análises.

É importante ressaltar que o mesmo ficará passível a atualizações de acordo com as mudanças que por ventura ocorrerem na legislação ambiental em vigência.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Resolução do CONAMA nº 406. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. **Diário Oficial [da] União.** Brasília, DF, 02 de fevereiro de 2009. Disponível em: < http://www.in.gov.br/>. Acesso em: 21 jan. 2013.

______. Norma de Execução n. º 1. Aprova a Estrutura Regimental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Diário Oficial [da] União.** Brasília, DF, 24 de abril de 2007., Disponível em: < http://www.in.gov.br/>. Acesso em: 21 jan. 2013.

______. Instrução Normativa n. º 5 de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFSs nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União.** Brasília, DF,13 de dez. 2006. Disponível em: < http://www.in.gov.br/>. Acesso em: 21 jan. 2013.

______. Instrução Normativa n. º 30. Regulamenta, no âmbito da Justiça do Trabalho, a Lei n° 11.419, de 19 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a informatização do processo judicial. **Diário Oficial [da] União.** Brasília, DF, 31 de dezembro de 2002. Disponível em: <http://www.in.gov.br/>. Acesso em: 21 jan. 2013.

CAMPOS, J. C.C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal:** perguntas e respostas. 4. ed. atual. ampl. Viçosa, MG. : UFV, 2013. 605p.

CASTANHEIRA, N.P. **Métodos Quantitativos**. Curitiba: IBPEX, 2008. 183p.

COUTO, H. T. Z. do; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações Hipsométricas para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo. **IPEF**, n.37, p.33-44, dez.1987.

HEINSDIJK, D. **Inventários florestais na Amazônia**. Ministério da Agricultura, Serviço Florestal Brasileiro, Rio de Janeiro. 1963. 100p. (Boletim,6).

HUSCH, B.; MILLER, C.l.; BEERS, T.W. **Forest mensuration.** 2.ed. New York : The Ronald Press Co., 1972. 410p.

IMANÃ-ENCINAS, J.; SILVA, G. F.da; TICCHETTI, I. **Variáveis dendrométricas**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2002. 102p. (Comunicações Técnicas Florestais, n.1).

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v.26, n.3, p.321-328, 2002**.**

LOETSCH, F; ZOHRER,F; HALLER,KE. Forest Inventory. Munchen: BLV.Verlagsgesellchaft, 1973. v.2. 469p.

PARÁ. Instrução Normativa da SEMA/PA nº 05. Dispõe sobre a Política Estadual de Floresta e demais formações de vegetação no Estado do Pará. **Imprensa Oficial do Estado do Pará**, Belém, PA, 19 de maio de 2011a. Disponível em: <http://www.ioepa.gov.br/>. Acesso em: 21 jan. 2013.

______. Instrução Normativa da SEMA/PA nº 04, Dispõe sobre a Política Estadual de Floresta e demais formações de vegetação no Estado do Pará. **Imprensa Oficial do Estado do Pará,** Belém, PA, 13 de maio de 2011b. Disponível em: <http://www.ioepa.gov.br/>. Acesso em: 21 jan. 2013.

______. Instrução Normativa da SEMA/PA nº 05. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS nas florestas nativas exploradas ou não e suas formas de sucessão no Estado do Pará, e dá outras providências. **Imprensa Oficial do Estado do Pará,** Belém, PA, 11 de setembro de 2015. Disponível em: <http://www.ioepa.gov.br/>. Acesso em: 09 mar. 2016.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

SILVA, J. L. R. da. **Modelos volumétricos, fatores de forma e equação de afilamento para floresta de terra firme da região do rio Aru município de Portel – Pará**. 2007. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2007.

SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J. O. P. de; LOPES, J. do C. A.; CARVALHO, M.S.P. de. Equações de volume para a floresta nacional do tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 8/9, p. 50-63, jun./dez. 1984.

SILVA, J. N. M. et al. Crescimento e produção de uma floresta tropical da Amazônia brasileira treze anos após a exploração. In: SIMPÓSIO SOBRE SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: CONTRICUIÇÕES DO PROJETO EMBRAPA/DFID. 1999, Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA/DFID, 1999. p. 186 – 194.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L de. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. 272p.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation effects on fire susceptibility and the potential response of tree species of fire in the rainforest of the eastern Amazon. **Ecology**, n.71 p.437-449, 1990.

VERÍSSIMO, A. et al. Logging impacts and prospects for sustainable Forest management in na old Amazonian frontier: The case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, v. 55, p. 169 – 199, 1992.

ANEXO A - REGULAMENTAÇÕES FEDERAIS E ESTADUAIS REFERENTES A FLORESTA E A PLANOS DE MANEJO FLORESTAIS

Constituição da República Federativa do Brasil de 1988
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm

Lei Federal nº 12.651, de 25/05/2012
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

Lei Federal nº 9.605, de 12/02/1998
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm

Decreto Federal nº 5.975, de 30/11/2006
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5975.htm

Decreto Federal nº 6.514, de 22/07/2008
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm

Resolução CONAMA nº 406, de 02/02/2009
http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=597

Instrução Normativa nº 05, do MMA de 11/12/2006
http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj8_cfSlbbLAhVBC5AKHYEiDncQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ibama.gov.br%2Fphocadownload%2Fcategory%2F47-_%3Fdownload%3D7670%253Ain-5-mma-2006&usg=AFQjCNFW1vBxKN3j2TQWK0qeRhYLS4x7uQ&bvm=bv.116573086,d.Y2I

Instrução Normativa nº 01 do MMA, de 12/02/2015
http://www.lex.com.br/legis_26485622_INSTRUCAO_NORMATIVA_N_1_DE_12_DE_FEVEREIRO_DE_2015.aspx

Norma de Execução/IBAMA nº 1, de 24/04/2007
https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=91545

Lei Estadual nº 6.462, de 4/07/2002
http://www.semas.pa.gov.br/2002/07/04/9762/

Instrução Normativa/SEMA/PA nº 60, de 31/12/2010
http://www.semas.pa.gov.br/2010/12/31/10984/

Instrução Normativa/SEMA/PA nº 04, de 13/05/2011
http://www.semas.pa.gov.br/2011/05/13/10986/

Instrução Normativa/SEMA/PA nº 05, de 19/05/2011
http://www.semas.pa.gov.br/2011/05/19/instrucao-normativa-no-05-de-19052011/

Instrução Normativa nº 08, de 26/12/2013 (republicada em 18/02/2014)
http://www.semas.pa.gov.br/2014/02/18/instrucao-normativa-no-008-de-26-de-dezembro-de-2013-publicada-no-doepa-no32586-de-18-de-fevereiro-de-2014-caderno-4-folhas-7-8/

Instrução Normativa/SEMA/PA nº 01, de 14/01/2014
http://www.semas.pa.gov.br/2014/01/14/in-0012014-de-10-de-janeiro-de-2014-publicada-no-doepa-no32563-de-14012014-caderno-5-paginas-6-7-8/

Instrução Normativa/SEMA/PA nº 05, de 10/09/2015
http://www.semas.pa.gov.br/2015/09/11/in-05-de-10092015-publicada-no-doe-32969-de-11092015-paginas-de-37-57/

Errata Instrução Normativa/SEMA/PA nº 05, de 10/09/2015
http://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2015/10/ERRATA-DA-INSTRU%C3%87%C3%83O-NORMATIVA-NO-051.pdf

EdUfra
Editora da Universidade Federal Rural da Amazônia

IDEFLOR-Bio
INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL E DA BIODIVERSIDADE

Secretaria de
Meio Ambiente e
Sustentabilidade

GOVERNO DO
PARÁ

ISBN 978-857295117-3